



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG1536
REDUKSI HASIL PEMERUMAN
MENGGUNAKAN *TIDAL ZONING* MELALUI PENDEKATAN
TIDAL CONSTITUENT AND RESIDUAL INTERPOLATION
(TCARI) (Studi Kasus : Selat Makassar)

DUTY KENDARTIWAstra
NRP 0331144000042

Dosen Pembimbing
Danar Guruh Pratomo S.T.,M.T.,Ph.D
Dr.Eko Yuli Handoko S.T.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG1536
REDUKSI HASIL PEMERUMAN
MENGUNAKAN *TIDAL ZONING* MELALUI PENDEKATAN
TIDAL CONSTITUENT AND RESIDUAL INTERPOLATION
(TCARI) (Studi Kasus : Selat Makassar)

DUTY KENDARTIWAstra
NRP 03311440000042

Dosen Pembimbing
Dinar Guruh Pratomo S.T.,M.T.,Ph.D
Dr.Eko Yuli Handoko S.T.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**Reduksi Data Pemeruman Menggunakan *Tidal Zoning*
Melalui Pendekatan *Tidal Constituent and Residual*
Interpolation (TCARI) (Studi Kasus: Selat Makassar)**

Nama : Duty Kendartiwastra
NRP : 03311440000042
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
**Pembimbing : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eko Yuli Handoko S.T.,M.T**

ABSTRAK

Koreksi data pemeruman biasanya dilakukan dengan mengurangi nilai kedalaman terhadap tinggi muka air laut yang telah tereferensi terhadap chart datum di waktu yang sama. Faktanya, perbedaan lokasi pemeruman dan pengamatan pasut menyebabkan tinggi muka air laut di kedua tempat tersebut tidak sama dalam waktu yang sama. Hal tersebut terjadi karena adanya perambatan nilai amplitudo dan fase gelombang pasut yang terjadi karena perbedaan karakteristik pasut antara satu wilayah dengan wilayah yang lain. Pembuatan tidal zoning menggunakan metode Tidal Constituent and Residual Interpolation merupakan salah satu solusi untuk permasalahan ini. Kostanta dan residual didapatkan dari data pengamatan 7 stasiun pasut di sekitar Selat Makassar menggunakan metode least square. Keduanya kemudian diinterpolasi di atas grid yang telah dibobotkan, lalu dihitung menggunakan persamaan LaPlace. Perbandingan hasil Co-Tidal dari metode Tidal Constituent and Residual Interpolation dan model pasut global Finite Element Solution 2014, menunjukkan nilai kedekatan lebih dari 0,5. Selanjutnya, ekstraksi tinggi muka air laut dilakukan pada zona pemeruman yang terletak 27,752 kilometer dari Stasiun Mahakam. Dengan interval confidence 95%, menunjukkan bahwa hasil batimetri yang telah terkoreksi oleh tidal zoning dan pengamatan pasut secara langsung memiliki perbedaan yang signifikan.

Kata kunci: Pemeruman, Tidal Zoning, Kostanta Pasut, Pasut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

***Reduction of Sounding Data by Tidal Zoning with Tidal
Constituent and Residual Interpolation (TCARI) Approach
(Case Study: Makassar Strait)***

Name : Duty Kendartiwastra
NRP : 03311440000042
Department : Geomatic Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eko Yuli Handoko S.T.,M.T

ABSTRACT

In Hydrographic Survey, correction of the sounding data is usually done by reducing the depth value against the water level that has been referenced on the chart datum. In fact, due to the difference location of sounding activity and tidal observation, the water levels in both places are not same in the same time. This is due to tide amplitude and phase propagation caused by the different characteristics of the tides between tidal observation point and sounding survey location. Tidal Constituent and Residual Interpolation is one of the solutions can solve this problem. Tidal constituents and residuals were obtained from the 7 tide stations around Makasssar Strait using least square method. Both are interpolated on weighted grid field, then calculated using the LaPlace equation. The Co-Tidal results of this method compared with the Finite Element Solution 2014 global tide model, show a closeness value of more than 0.5. Then water levels are extracted from this Co-Tidal in the survey zone located 27.752 kilometers from Mahakam Station. With a level of significant 5%, indicating that bathymetry corectected by Tidal Constituent and Residual Interpolation and direct water level measurment has a difference result.

Keywords: *Sounding, Tidal Zoning, Tidal Constituents, Ocean Tide.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

REDUKSI HASIL PEMERUMAN MENGGUNAKAN *TIDAL ZONING* DENGAN PENDEKATAN *TIDAL* *CONTITUENT AND RESIDUAL INTERPOLATION* (TCARI) (Studi Kasus: Selat Makassar)

TUGAS AKHIR


Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:


DUTY KENDARTIWASTRA
NRP.0331144000042

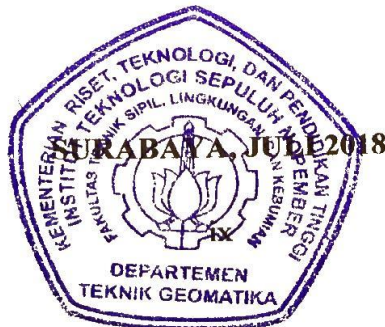
Disetujui oleh pembimbing tugas akhir:

1. Danar Guruh Pratomo S.T.,MT.,Ph,D
NIP. 19800507 200312 1 001


.....
(Pembimbing I)

2. Dr.Eko Yuli Handoko S.T.,M.T
NIP. 19740727 200003 1 001


.....
(Pembimbing II)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT atas nikmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “REDUKSI HASIL PEMERUMAN MENGGUNAKAN *TIDAL ZONING* DENGAN PENDEKATAN *TIDAL ZONING AND RESIDUAL INTERPOLATION* (TCARI) (Studi Kasus: Selat Makassar)”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tahap Strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak dan Ibu atas doa, dukungan, semangat, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini.
2. Bapak Danar G. Pratomo S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Dr.Eko Yuli Handoko S.T.,M.T selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan arahan dan saran kepada penulis.
4. Ibu Udiana Wahyu Deviantari S.T.,M.T selaku dosen wali yang senantiasa memberikan dukungan dan masukan dari sejak awal masuk perkuliahan hingga lulus selama 4 tahun.
5. Bapak Yanto Budisusanto, ST, M.Eng selaku koordinator Tugas Akhir.
6. Bapak Mochamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
7. Bapak Ibu Dosen Teknik Geomatika atas bimbingan, ilmu yang diajarkan selama ini dan Bapak dan Ibu Tata Usaha, serta seluruh staff dan karyawan Teknik Geomatika yang telah membantu kelancaran proses akademis.

8. Badan Informasi Geospasial (BIG) yang membantu dalam proses penyediaan data pengamatan pasang surut air laut di sekitar Selat Makassar.
9. PT.Pageo Utama yang telah memeberikan membantu menyediakan survei batimetri di Selat Makassar
10. Bapak Barry Gallagher dari NOAA yang telah membantu dalam menyelesaikan permasalahan dalam pembuatan *tidal zoning* menggunakan *software* Pydro.
11. Serta teman-teman Jurusan Teknik Geomatika angkatan 2014 atas bantuan dan kerjasama selama kuliah dan pada saat penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan dalam aktifitasnya kepada semua pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Besar harapan penulis tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi pembaca. Sekian dan terima kasih.

Surabaya, Juli 2018

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Prinsip Pengukuran Kedalaman Menggunakan Gelombang Akustik	7
2.2 Pasang Surut Air Laut	9
2.2.1 Gaya Pembangkit Pasut	10
2.2.2 Konstituen Pasut	13
2.2.3 Metode <i>Least Square</i>	15
2.2.4 Tinggi Muka Air Laut (<i>Water Level</i>)	16
2.2.5 Sifat dan Karakteristik Pasut	18
2.2.6 Gerakan Pasut	19
2.3 <i>Discrete Tidal Zoning</i>	20
2.4 Metode TCARI	23
2.5 Persamaan Laplace	24
2.6 Model Pasut Global	27
2.7 FES2014 (<i>Finite Element Solution</i>)	28

2.8 Regresi Linier	29
2.9 Penelitian Terdahulu.....	30
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Lokasi	33
3.2 Data dan Peralatan.....	34
3.3 Metode Penelitian.....	37
3.3.1 Tahap Pelaksanaan	37
3.3.2 Tahap Pengolahan Data.....	39
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	49
4.1 Hasil Pengolahan Data Pengamatan Pasut Di Setiap Stasiun Pasut	49
4.1.1 Stasiun Balikpapan	49
4.1.2 Stasiun Kotabaru	51
4.1.3 Stasiun Makassar	52
4.1.4 Stasiun Mamuju.....	54
4.1.5 Stasiun Pantoloan	55
4.1.6 Stasiun Pare-pare	57
4.1.7 Stasiun Mahakam	58
4.2 Hasil <i>Tidal Constituent and Residual Interpolation</i>	60
4.2.1 Hasil <i>Gridding</i> dan Pembobotan	60
4.2.2 Co-Tidal.....	63
4.2.3 Anomali Nilai Amplitudo.....	75
4.2.4 Hasil Ekstraksi <i>Water Level</i> di Daerah Pemeruman....	79
4.3 Perbandingan Distribusi Perbedaan Nilai Kostanta Pasut dan Uji Korelasi Metode TCARI Terhadap Model Pasut Global FES2014.....	82
4.3.1 Perbedaan Kostanta Pasut M2.....	84
4.3.2 Perbedaan Kostanta Pasut S2	85
4.3.3 Perbedaan Kostanta Pasut N2.....	86
4.3.4 Perbedaan Kostanta Pasut K2.....	87
4.3.5 Perbedaan Kostanta Pasut K1.....	88
4.3.6 Perbedaan Kostanta Pasut O1.....	89

4.3.7 Perbedaan Kostanta Pasut P1	90
4.3.8 Perbedaan Kostanta Pasut MF	91
4.3.9 Perbedaan Kostanta Pasut MM.....	92
4.3.10 Perbedaan Kostanta Pasut M4	93
4.3.11 Perbedaan Kostanta Pasut MS4.....	94
4.3.12 Pembahasan Hasil Korelasi	95
4.4 Hasil Pengolahan Data Pemeruman	97
4.4.1 Skema 1	98
4.4.2 Skema 2	99
4.5 Hasil Uji Signifikansi Pemeruman Skema 1 dan Skema 2	100
BAB V PENUTUP	103
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gaya Pembangkit Pasut	11
Gambar 2.2	Bulan Baru dan Bulan Purnama	12
Gambar 2.3	Gelombang Pasut	20
Gambar 2.4	Tidal Zoning Metode Diskrit.....	22
Gambar 2.5	Diskontinuitas Di Daerah Zona Perbatasan Pada Metode Diskrit.....	22
Gambar 2.6	Hasil Gridding TCARI.....	24
Gambar 2.7	Efek Nilai Alfa (α) yang Digunakan Terhadap Hasil Kontur	25
Gambar 2.8	(a) Uji Nilai Alfa (α) (b) Kontur yang Dihasilkan.....	26
Gambar 2.9	Spectral Validation – Tide Gauge di Beberapa Karakteristik Laut.....	27
Gambar 2.10	Spectral Validation – Tide Gauge di Beberapa Negara	28
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian dan Persebaran Stasiun Pengamatan Pasut di Selat Makassar	33
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengolahan Data Bagian 1	39
Gambar 3.4	Diagram Alir Pengolahan Data Bagian 2	43
Gambar 4.1	Grafik Pasut Stasiun Balikpapan	50
Gambar 4.2	Grafik Pasut Stasiun Kotabaru.....	51
Gambar 4.3	Grafik Pasut Stasiun Makassar	53
Gambar 4.4	Grafik Pasut Stasiun Mamuju.....	54
Gambar 4.5	Grafik Pasut Stasiun Pantoloan	56
Gambar 4.6	Grafik Pasut Stasiun Pare-pare	57
Gambar 4.7	Grafik Pasut Stasiun Mahakam	59
Gambar 4.8	Hasil Gridding Di Sekitar Stasiun Pasut Makassar.....	61
Gambar 4.9	Hasil Gridding Pembobotan	62

Gambar 4.10 Co-Tidal M2 Selat Makassar	64
Gambar 4.11 Co-Tidal S2 Selat Makassar	65
Gambar 4.12 Co-Tidal N2 Selat Makassar.....	66
Gambar 4.13 Co-Tidal K1 Selat Makassar.....	67
Gambar 4.14 Co-Tidal M4 Selat Makassar	68
Gambar 4.15 Co-Tidal O1 Selat Makassar.....	69
Gambar 4.16 Co-Tidal MM Selat Makassar	70
Gambar 4.17 Co-Tidal MF Selat Makassar.....	71
Gambar 4.18 Co-Tidal P1 Selat Makassar	72
Gambar 4.19 Co-Tidal K2 Selat Makassar.....	73
Gambar 4.20 Co-Tidal MS4 Selat Makassar.....	74
Gambar 4.21 Anomali Nilai Amplitudo M4, O1 dan P1.....	75
Gambar 4.22 Geometri Pantai di Sekitar Pesisir Balikpapan	76
Gambar 4.23 Pulau Laut di Pesisir Kotabaru.....	77
Gambar 4.24 Geometri Batimetri di Pesisir Makassar	78
Gambar 4.25 Perubahan Elevasi dan Kecepatan Pasut dari Perairan Dalam Ke Perairan Dangkal (Muhammad Ali 2004)	78
Gambar 4.26 Grafik Nilai Pengamatan Water Level di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 24 September 2017	79
Gambar 4.27 Grafik Nilai Pengamatan Water Level di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 25 September 2017	80
Gambar 4.28 Grafik Nilai Pengamatan Water Level di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 26 September 2017	80
Gambar 4.29 Jarak Lokasi Pemeruman dan Stasiun Pengamatan Pasut.....	81
Gambar 4.30 Pola Pasut Lokasi Pemeruman dan Stasiun Pengamatan	82
Gambar 4.31 Koordinat Titik ICP yang Digunakan Sebagai Uji Korelasi.....	84

Gambar 4.32 Co-Amplitude M2 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo M2.....	85
Gambar 4.33 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI M2...	85
Gambar 4.34 Co-Amplitude S2 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo S2	86
Gambar 4.35 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI S2	86
Gambar 4.36 Co-Amplitude N2 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo N2	87
Gambar 4.37 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI N2 ...	87
Gambar 4.38 Co-Amplitude K2 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo K2	88
Gambar 4.39 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI K2 ...	88
Gambar 4.40 Co-Amplitude K1 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo K1	89
Gambar 4.41 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI K1 ...	89
Gambar 4.42 Co-Amplitude O1 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo O1	90
Gambar 4.43 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI O1 ...	90
Gambar 4.44 Co-Amplitude P1 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo P1	91
Gambar 4.45 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI P1	91
Gambar 4.46 Co-Amplitude MF (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo MF	92
Gambar 4.47 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MF...	92
Gambar 4.48 Co-Amplitude MM (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo MM	93
Gambar 4.49 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MM .	93
Gambar 4.50 Co-Amplitude M4 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo M4.....	94
Gambar 4.51 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI M4...	94
Gambar 4.52 Co-Amplitude MS4 (a)TCARI (b)FES2014	
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo MS4	95
Gambar 4.53 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MS4.	95

Gambar 4.54 Nilai Amplitudo FES2014 dan TCARI97

Gambar 4.55 Hasil Reduksi Data Pemeruman Skema 199

Gambar 4.56 Hasil Reduksi Data Pemeruman Skema 2100

Gambar 4.57 Sebaran Titik Sampel Uji Signifikansi101

Gambar 4.58 Zona Kritis Uji Z102

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Konstanta Harmonik Pasut (Triatmodjo 1999)	14
Tabel 3. 1	Koordinat Stasiun Pasut	34
Tabel 3. 2	Korelasi Antar Variabel (Hasan 2013)	42
Tabel 4. 1	Kostanta Pasut Stasiun Balikpapan	50
Tabel 4. 2	Kostanta Pasut Stasiun Kotabaru.....	52
Tabel 4. 3	Kostanta Pasut Stasiun Makassar	53
Tabel 4. 4	Kostanta Pasut Stasiun Mamuju.....	55
Tabel 4. 5	Kostanta Pasut Stasiun Pantoloan	56
Tabel 4. 6	Kostanta Pasut Stasiun Pare-pare	58
Tabel 4. 7	Kostanta Pasut Stasiun Mahakam	59
Tabel 4. 8	Selisih Water Level Lokasi Pengamatan Pasut dan Pemeruan	81
Tabel 4. 9	Tabel Perbandingan FES2014 dan TCARI	83
Tabel 4. 10	Informasi Kegiatan Pemeruan	97
Tabel 4. 11	Nilai Kedalaman Titik ICP Pada Kedua Model Batimetri	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Pengamatan Pasang Surut
- Lampiran 2. *Script* Analisa Least Square
- Lampiran 3. Model Pasut Global FES2014
- Lampiran 4. *Script* Ekstraksi Kostanta FES2014
- Lampiran 5. *File Input Tide Station* Pydro
- Lampiran 6. Dimensi Kapal dan *Offset Instrument* Survei
- Lampiran 7. Data *Sound Velocity Profiler*
- Lampiran 8. Sketsa Jalur Survei
- Lampiran 9. Hasil Uji Standar IHO Skema 1
- Lampiran 10. Hasil Uji Standar IHO Skema 2
- Lampiran 11. Co-tidal
- Lampiran 12. Peta Batimetri Skema 1
- Lampiran 13. Peta Batimetri Skema 2
- Lampiran 14. Perbandingan Tinggi Muka Air Laut di Sekitar Stasiun Mahakam
- Lampiran 15. Grid Model Pasut Global FES2014

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut hasil studi lembaga *International Energy Agency* (IEA), Indonesia menduduki peringkat 22 sebagai negara penghasil minyak bumi terbesar di dunia dengan produksi mencapai 911000 barrel per hari. Pada tahun 2014 Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) mencatat produksi minyak bumi Indonesia mencapai 7,25 juta barrel per hari, hampir mendekati produksi minyak negara di Timur Tengah (Nurzaman, dkk 2016). Hal ini membuktikan bahwa Indonesia kaya akan sumber daya minyak dan gas bumi. Berdasarkan peta persebaran area kerja eksploitasi minyak dan gas bumi di Indonesia oleh Direktorat Jendral Migas tahun 2010, salah satu tempat yang banyak dilakukan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi adalah Selat Makassar. Dalam mendukung kegiatan eksplorasi, eksploitasi dan *maintenance* bangunan *offshore*, pada daerah-daerah seperti ini banyak dilakukan kegiatan survei batimetri. Peta batimetri dapat diwujudkan melalui kegiatan pemeruman menggunakan *echosounder*.

Echosounder adalah salah satu peralatan elektronik yang terdapat di kapal guna untuk mengukur kedalaman dasar laut. Pengukuran kedalaman laut berdasarkan pulsa getaran suara. Getaran pulsa-pulsa tersebut dipancarkan dari *transducer* kapal secara vertikal ke dasar laut, selanjutnya permukaan dasar laut akan memantulkan kembali pulsa-pulsa itu kemudian diterima oleh *transducer* kapal. Selang waktu ketika sinyal dipancarkan sampai diterima kembali akan tercatat. Sehingga jarak yang terukur selama selang waktu tersebut merupakan jarak dua kali kedalaman lokal (Xavier 2002). Kedalaman hasil pengukuran yang didapatkan tetap harus dikoreksi dari berbagai kesalahan yang mungkin terjadi. Kesalahan tersebut dapat berasal dari kecepatan gelombang suara, pasang surut, kecepatan kapal, sistem pengukuran, *offset* dan posisi kapal. Dari beberapa sumber kesalahan tersebut, pasang surut air laut merupakan sumber

kesalahan utama dalam kegiatan pemeruman (Gunathilaka dan Mahmud 2014), karena efektifitas reduksi data hasil pemeruman pada sebuah *chart* datum sangat bergantung kepada pemahaman tentang karakteristik pasang surut di suatu wilayah (Wolocot 2008).

Berdasarkan penelitian yang telah ada di Indonesia, sebagian besar metode koreksi hasil pemeruman terhadap pasang surut air laut dilakukan menggunakan data observasi pasang surut dari satu stasiun pasut baik secara *real-time* atau setelah proses pemeruman dilakukan. Ketinggian muka air laut terhadap *chart* datum ketika proses pemeruman diasumsikan sama dengan tinggi muka air laut yang tercatat di stasiun pasut terdekat dalam waktu yang sama. Metode seperti ini dinilai kurang akurat dan presisi karena pada kenyataannya, tinggi muka air laut di wilayah pemeruman tidak sama dengan tinggi muka air laut yang tercatat di suatu stasiun pasut karena adanya perambatan fase dan amplitudo gelombang pasut. Sehingga perlu adanya pemodelan *tidal zoning* untuk memprediksi pasut di suatu daerah pemeruman dengan memanfaatkan data pasut dari beberapa stasiun pasut.

Tidal zoning dapat dilakukan menggunakan metode Diskrit atau TCARI (*Tidal Constituent and Residual Interpolation*). Dalam penelitian ini akan dibahas pembuatan *Tidal Zoning* menggunakan metode TCARI dengan model pasut global hasil pengamatan satelit altimetri sebagai data kontrol. Metode TCARI (*Tidal Constituent and Residual Interpolation*) adalah metode interpolasi pasut dari beberapa stasiun pasut pada suatu *grid* area pemodelan dengan pembobotan area *grid* berdasarkan Persamaan LaPlace (Cisternelli dan Gill 2014). Sehingga setiap titik pada *grid* memiliki nilai fase dan amplitudo gelombang pasut tertentu yang dapat digunakan untuk membuat prediksi tinggi muka air laut dalam waktu tertentu. Kelebihan TCARI dibandingkan Metode Diskrit adalah dapat menghilangkan diskontinuitas yang terjadi pada zona transisi, memisahkan perhitungan tinggi muka air akibat efek pasut dan non pasut (cuaca dan *river discharge*), serta dapat menampilkan uncertainty model akibat perambatan

kesalahan *Tidal Datum*, *Astronomic* dan *Water Level Uncertainty* (Cisternelli dan Martin 2017). Dengan penerapan metode TCARI diharapkan hasil data prediksi pasut dapat lebih akurat dan presisi untuk mengkoreksi hasil pemeruman sehingga didapatkan ketelitian pengukuran kedalaman yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk membuat *tidal zoning* dalam rangka mereduksi hasil pemeruman menggunakan *tidal zoning* melalui pendekatan *Tidal Constituent and Residual Interpolation* (TCARI), hal-hal yang harus diketahui terlebih dahulu adalah bagaimana tahap-tahap untuk membuat *tidal zoning*, dan melakukan uji kebenaran dari model yang dihasilkan serta penerapan model tersebut untuk mengkoreksi data pemeruman untuk menguji tingkat efektifitas metode TCARI. Sehingga rumusan masalah dari penelitian ini dapat disimpulkan menjadi tiga hal berikut:

- a. Bagaimana cara melakukan pemodelan *Tidal Zoning* menggunakan metode TCARI ?
- b. Bagaimana cara untuk menguji tingkat kebenaran hasil model *Tidal Zoning*?
- c. Bagaimana cara menggunakan *Tidal Zoning* dengan pendekatan TCARI untuk mereduksi data hasil pemeruman?

1.3 Batasan Masalah

Pembuatan *Tidal Zoning* dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, berikut adalah beberapa jenis metode pengolahan data, metode kontrol kualitas data dan wilayah pemodelan yang menjadi batasan masalah penelitian agar penelitian dapat berjalan fokus sesuai dengan tujuan.

- a) Sebagai data kontrol dari model *Tidal Zoning* yang telah dibuat, dilakukan uji korelasi menggunakan model pasut global hasil pengamatan satelit altimetri yang melewati Selat Makassar. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa model *Tidal Zoning* yang telah dibuat telah sesuai (mendekati benar).

- b) Metode pengolahan pasut yang digunakan adalah *Least Square*, karena mempunyai prosedur pengolahan data yang lebih mudah dan cepat untuk mengolah data pasut dari banyak stasiun pasut dan dengan periode data pengamatan pasut yang panjang.
- c) Metode *gridding* yang digunakan adalah TIN (*Triangular Irregular Network*). Metode *gridding* TIN digunakan agar model *Tidal Zoning* yang telah dibuat dapat mencakup area tepi pantai pulau-pulau Indonesia yang berbentuk cenderung tidak teratur.
- d) Wilayah penelitian adalah Selat Makassar $115^{\circ}25'3,7''$ BT – $120^{\circ}0'34,8''$ BT dan $5^{\circ}30'4,8''$ LS– $0^{\circ}57'52,36''$ LU.
- e) Penelitian menggunakan sebelas konstanta harmonik meliputi konstanta semidiurnal, diurnal dan periode panjang (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, MF, MM, M4, dan MS4) pada masing-masing stasiun pasang surut.
- f) Model pasut global yang digunakan adalah FES2014 yang merupakan hasil pemodelan dari pengamatan misi satelit altimetri topex/ Poseidon, Jason-1, Jason-2, TP interleaved - J1 interleaved, ERS-1, ERS-2, dan Envisat

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diperoleh, maka penelitian dapat dilakukan dengan tujuan seperti berikut:

- a) Membuat *Tidal Zoning* dengan metode TCARI
- b) Menguji tingkat kebenaran *Tidal Zoning* yang telah dibuat dengan metode TCARI
- c) Mengaplikasikan *Tidal Zoning* untuk mereduksi data pemeruman di Selat Makassar

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat, diantaranya:

- a. Dapat menghasilkan Tidal Zoning Selat Makassar menggunakan metode TCARI
- b. Dapat menyajikan korelasi antara metode TCARI terhadap model Pasut Global FES2014
- c. Dapat menggunakan prediksi tinggi muka air laut dari metode TCARI untuk mereduksi data pemeruman

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sebagai usaha memperoleh landasan berfikir untuk merealisasikan penelitian Reduksi Hasil Pemeruman Menggunakan *Tidal Zoning* Melalui Pendekatan *Tidal Constituent and Residual Interpolation* (TCARI), dilakukan pengkajian dasar-dasar teori sesuai dengan konsep penelitian. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pemeruman merupakan proses dan aktivitas yang ditujukan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*). Proses penggambaran dasar perairan tersebut (sejak pengukuran, pengolahan hingga visualisasi) disebut dengan survei batimetri. Surevi batimetri, erat kaitannya dengan kegiatan pengukuran kedalaman dasar perairan. Pengukuran ini biasanya dilakukan menggunakan alat *echosounder* dengan memanfaatkan gelombang akustik. Prinsip pengukuran kedalaman menggunakan gelombang akustik secara lebih rinci akan dijelaskan pada uraian berikut.

2.1 Prinsip Pengukuran Kedalaman Menggunakan Gelombang Akustik

Penerapan pengukuran kedalaman dengan metode gelombang akustik dapat dilakukan di seluruh wilayah permukaan bumi yang tertutup air termasuk di laut yang sering disebut dengan akustik kelautan. Akustik kelautan ini merupakan ilmu yang mempelajari gelombang suara dan perambatannya dalam suatu medium, dalam hal ini mediumnya adalah air laut (Allo 2008). Menurut Budiarto (2001) proses pembentukan gelombang suara dan sifat-sifat perambatannya serta proses-proses selanjutnya dibatasi oleh air. Untuk memperoleh informasi tentang objek-objek bawah air digunakan suatu sistem sonar yang terdiri dari dua sistem yaitu *active sonar system* yang digunakan untuk mendeteksi dan meneliti target-target bawah air dan *passive sonar system* yang hanya digunakan untuk menerima suara-suara yang dihasilkan

oleh objek-objek bawah air. Dalam perambatannya, akustik mengenal adanya *transmission loss* akibat adanya absorpsi dari medium, adanya kehilangan akibat penyebaran (*spreading*) di dalam medium air, impedansi akustik yang mempengaruhi nilai *backscattering strength*, ukuran butir dan sifat-sifat sedimen terhadap sifat-sifat akustik (Noorjayantie 2009). Selain itu, gangguan juga bisa terjadi dalam menjalankan metode akustik yang disebut dengan *noise*, yaitu sinyal yang tidak diinginkan yang dapat terjadi karena faktor fisik, biologi, dan artifisial (Allo 2008). Penggunaan gelombang akustik untuk pengukuran-pengukuran bawah air (termasuk pengukuran kedalaman, arus, dan sedimen) merupakan teknik yang paling populer dalam hidrografi sampai saat ini. Untuk pengukuran kedalaman, digunakan *echosounder* atau perum gema yang pertama kali dikembangkan di Jerman pada tahun 1920. Alat ini dapat dipakai untuk menghasilkan profil kedalaman yang kontinyu sepanjang jalur perum dengan ketelitian yang cukup baik. Alat perum gema menggunakan prinsip pengukuran jarak dengan memanfaatkan gelombang akustik yang dipancarkan dari *transducer*. *Transducer* adalah bagian dari alat perum gema yang mengubah energi listrik menjadi mekanik dan sebaliknya. Gelombang akustik tersebut merambat pada medium air dengan cepat rambat yang relatif diketahui atau dapat diprediksi hingga menyentuh dasar perairan dan dipantulkan kembali ke *transducer* (Allo 2008). Dengan prinsip seperti ini kedalaman dasar perairan dapat diketahui dan dengan memanfaatkan GPS, posisi x,y dan z titik di permukaan dasar perairan dapat ditentukan. Dalam proses pengukurannya, ada beberapa faktor kesalahan yang terjadi karena posisi *transducer* yang tidak stabil akibat gerakan kapal yang terkena gelombang sehingga perlu dikoreksi oleh kesalahan *roll*, *pitch* dan *yaw* yang terjadi. Selain itu, perbedaan salinitas kolom air juga mempengaruhi cepat rambat sinyal yang ditransmisikan oleh medium. Untuk hal ini biasanya dilakukan pengukuran

menggunakan *sound velocity profiler* untuk mengetahui kecepatan gelombang akustik di setiap kolom air. Di samping kesalahan-kesalahan tersebut, pasang surut air laut merupakan sumber kesalahan utama dalam kegiatan pemeruman (Gunathilaka dan Mahmud 2014). Adapun pengertian tentang pasang surut (pasut) air laut akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

2.2 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo 2010). Pengetahuan pasang surut sangat penting dalam perencanaan bangunan yang berdiri di atas permukaan bumi yang tertutup air. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan *offshore* atau misalnya pelabuhan. Sebagai contoh, kedalaman alur pelayaran atau dermaga ditentukan oleh muka air surut. Dalam perencanaan dermaga diperlukan data pengamatan pasang surut minimal selama 15 hari yang digunakan untuk menentukan elevasi muka air rencana. Dengan pengamatan selama 15 hari tersebut telah tercakup satu siklus pasang surut yang meliputi pasang purnama dan perbani. Pengamatan lebih lama (30 hari atau lebih) akan memberikan data yang lebih lengkap. Pengamatan muka air dapat dilakukan dengan menggunakan alat otomatis (AWLR) atau secara manual dengan menggunakan bak ukur dengan interval pengamatan setiap jam, siang dan malam. Untuk dapat melakukan pembacaan dengan baik tanpa terpengaruh gelombang, biasanya pengamatan dilakukan di tempat yang terlindung, seperti muara sungai atau teluk (Kramadibrata 2001). Untuk mengetahui lebih dalam tentang pasang surut air laut, berikut akan dijelaskan gaya-gaya pembangkit pasut, konstanta pasut, metode *least square*, perhitungan prediksi muka air laut dan macam-macam pasut

berdasarkan karakteristiknya serta istilah-istilah dalam gelombang pasut.

2.2.1 Gaya Pembangkit Pasut

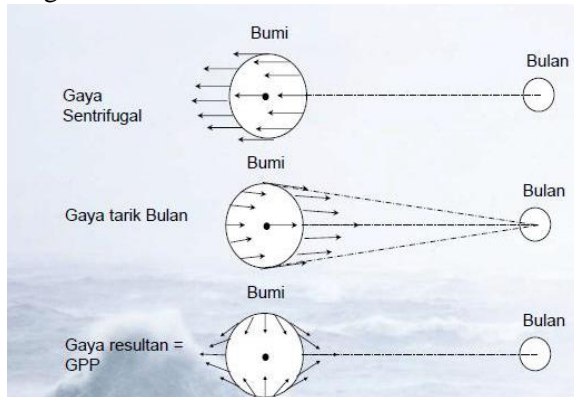
Pembentukan terjadinya pasang surut didasarkan pada dua teori yaitu teori kesetimbangan dan teori dinamis. Teori kesetimbangan dimana pada setiap saat seluruh permukaan bumi memiliki potensial gravitasi yang konstan dan sama besar. Pasut setimbang tersebut hanya akan terjadi dalam keadaan ideal yang mengasumsikan bahwa:

- a) Seluruh permukaan bumi adalah perairan
- b) Perairan yang memiliki kedalaman > 20 km
- c) Tidak ada inersia (F tidak sama dengan massa \times percepatan)
- d) Tidak ada gesekan antar partikel air di lautan
- e) Tidak ada gesekan dengan dasar perairan.

Laplace mengatakan bahwa osilasi muka laut memiliki periodisitas yang sama (identik) dengan periode gaya-gaya yang menghasilkan osilasi tersebut. Dengan demikian maka komponen harmonik pasut yang sebenarnya dimanapun di muka bumi ini memiliki periode dan frekuensi yang sama dengan komponen harmonik teoritis yang dikembangkan dari kondisi pasut setimbang (Ali, Hadi dan Mihardja 1994).

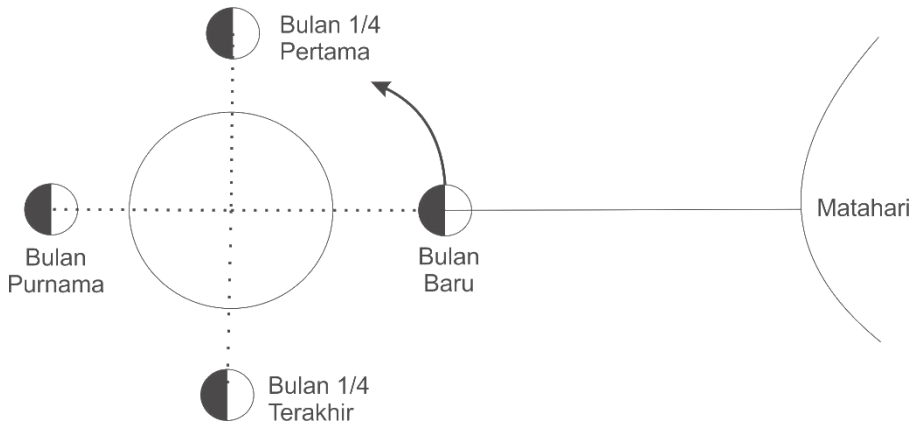
Pada permukaan bumi, gaya penggerak pasut atau gaya pembangkit pasut dihasilkan dari dua resultan gaya yaitu gaya gravitasi bumi terhadap bulan dan matahari serta gaya sentrifugal akibat dari rotasi bumi dan bulan. Gaya sentrifugal merupakan gaya yang arahnya berlawanan dengan gaya gravitasi yang menyebabkan bumi dan bulan tidak bertubrukan. Di pusat bumi gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya tarik bulan yang artinya di pusat bumi kedua gaya tersebut memiliki gaya yang sama besar. Oleh karena besarnya gaya tarik bulan pada setiap partikel massa

di bumi berbeda-beda, sedangkan gaya sentrifugal yang dialaminya sama besar (sama dengan gaya tarik bulan di pusat bumi), maka hal tersebut dapat menghasilkan gejala pasang surut air laut.



Gambar 2. 1 Gaya Pembangkit Pasut (Modifikasi dari Poerbandono dan Djunarsjah 2005)

Pada Gambar 2.1, gejala pasut terjadi akibat gaya tarik bulan lebih besar dibanding gaya tarik matahari terhadap bumi. Besar kecilnya gaya pembangkit pasut tergantung pada jarak antara suatu tempat di permukaan bumi terhadap bulan dan Matahari serta kedudukan bumi, bulan dan matahari. Periode dari awal bulan ke bulan purnama disebut *Waxing*, sedangkan periode dari bulan purnama ke awal bulan disebut *Waning*.



Gambar 2. 2 Bulan Baru dan Bulan Purnama (Ali, Hadi, dan Mihardja 1994)

Seperti diketahui bahwa bumi tidak tegak lurus dalam orbitnya mengelilingi matahari tetapi membentuk sudut kemiringan $23\frac{1}{2}^{\circ}$ dari garis vertikal. Akibatnya, selama bumi berputar pada porosnya, bagian-bagian di permukaan bumi mengalami ketinggian pasang-surut yang berbeda. Ketinggian pasang surut juga mengalami perbedaan yang disebabkan karena adanya perubahan relatif letak bulan terhadap bumi dalam orbitnya mengelilingi bumi. Orbit bulan tidak bulat melainkan berbentuk elips, maka pada waktu-waktu tertentu, bulan lebih dekat ke bumi (*perigee*) dan waktu lainnya bulan lebih jauh dari bumi (*apogee*). Selain itu orbit bulan tidak sejajar dengan ekuator atau mempunyai sudut deklinasi sistem bulan dan matahari.

Berdasarkan teori dinamis, pembentukan pasang dipengaruhi kedalaman dan luas perairan, pengaruh rotasi bumi (gaya coriolis), serta gesekan dasar. Rotasi bumi menyebabkan semua benda yang bergerak di permukaan bumi akan berubah arah (*Coriolis Effect*). Di belahan bumi

utara benda membelok ke kanan, sedangkan di belahan bumi selatan benda membelok ke kiri. Pengaruh ini tidak terjadi di equator, tetapi semakin meningkat sejalan dengan garis lintang dan mencapai maksimum pada kedua kutub. Besarnya juga bervariasi tergantung pada kecepatan pergerakan benda tersebut.

Kedalaman dasar laut berpengaruh terhadap perambatan gelombang pasut, yaitu pada perairan dalam perambatan gelombang pasutnya akan lebih sederhana dibandingkan pada perairan yang lebih dangkal (Rawi 1994). Selain itu pada perairan dangkal atau perairan pantai magnitudo amplitudonya biasanya bertambah jika dibandingkan dengan perairan dalam.

2.2.2 Konstituen Pasut

Penentuan konstanta pasut berhubungan dengan komponen-komponen harmonik gaya pembangkit pasut. Konstanta pasang surut mempunyai nilai amplitudo dan periode yang berbeda-beda dari setiap komponen harmonik. Secara garis besar dapat dikategorikan ke dalam 4 (empat) kelompok (Triatmodjo 1999), yaitu:

- a) Konstanta harmonik periode setengah harian (*semidiurnal period tide*), terdiri dari M₂, S₂, N₂, dan K₂.
- b) Konstanta harmonik periode harian (*diurnal period tide*), terdiri dari K₁, O₁, dan P₁.
- c) Konstanta harmonik periode panjang (*long period tide*), terdiri dari M_f dan M_m.
- d) Konstanta perairan dangkal (*shallow water tide*), terdiri dari M₄ dan M_{S4}.

Tabel 2. 1 Konstanta Harmonik Pasut (Triatmodjo 1999)

No.	Nama Kostanta	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan (°/jam)	Jenis
1	<i>Principal lunar</i>	M2	12,42	28,984	Semidi- urnal
2	<i>Principal solar</i>	S2	12,00	30,000	
3	<i>Larger lunar elliptic</i>	N2	12,66	28,440	
4	<i>Luni solar semi diurnal</i>	K2	11,98	30,082	
5	<i>Luni solar diurnal</i>	K1	23,93	15,041	Diurnal
6	<i>Principal lunar diurnal</i>	O1	25,82	13,943	
7	<i>Principal solar diurnal</i>	P1	24,07	14,959	
8	<i>Lunar fortnightly</i>	Mf	327,82	1,098	Periode
9	<i>Lunar monthly</i>	Mm	661,30	0,544	Panjang
10	<i>Main lunar</i>	M4	6,21	57,968	Periode
11	<i>Main luni-solar</i>	MS4	6,20	58,084	Dangkal

Dalam analisa pasut untuk penghitungan konstanta harmonik sangat bergantung pada panjangnya data pengamatan pasut. Panjang data pengamatan mempengaruhi banyaknya komponen pasut yang akan ditentukan. Salah satu kriteria yang dapat digunakan dalam menentukan komponen pasut apa saja yang akan dihitung adalah kriteria *Rayleigh*. Kriteria *Rayleigh* adalah apabila terdapat dua komponen A dan komponen B hanya dapat dipisahkan jika panjang data lebih dari suatu periode tertentu yang disebut periode sinodik. Periode sinodik dapat dirumuskan dengan rumus berikut (Thomson dan Emery 1998) :

$$PS = \frac{360}{\omega_A - \omega_B} \quad (2.1)$$

Di mana:

PS= Periode Sinodik (jam)

ω_A = Kecepatan Sudut Komponen A (°/jam)

ω_B = Kecepatan Sudut Komponen B (°/jam)

Analisis harmonik pasut bertujuan untuk menghitung amplitudo hasil respon dari kondisi laut setempat terhadap pasut setimbang dan beda fase dari gelombang tiap komponen terhadap keadaan pasut setimbang. Analisa pasut dapat menggunakan metode *Least Square* yaitu jumlah data lebih banyak daripada jumlah parameter yang dihitung. Amplitudo dan fase komponen dari persamaan harmonik pasut dihitung berdasarkan data pengamatan terhadap kedudukan muka air dalam jangka waktu tertentu, dengan menggunakan komponen yang diketahui periodenya. Metode *Least Square* adalah salah satu metode yang paling populer dalam menyelesaikan masalah hitungan perataan (Setyadi 2005).

2.2.3 Metode *Least Square*

Menurut Ongkosongo (1989), variasi naik turunnya muka air laut adalah hasil penjumlahan (superposisi) dari semua gelombang komponen harmonik pasut yang terjadi. Dengan demikian tinggi muka air laut dapat dituliskan dalam persamaan rumus berikut:

$$H(t) = A_0 + \sum_1^n A_n \cos[\omega_n t_i - g_n] \quad (2.2)$$

$$a) \quad A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$b) \quad \omega_n = \frac{2\pi}{P_n(\text{periode})}$$

$$c) \quad g_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

$$d) \quad j_n = \frac{g_n}{\omega_n}$$

Penjelasan :

$H(t)$ = tinggi muka air laut saat t (m)

A_0 = tinggi muka air laut rata-rata (MSL) (m)

A_n	=	amplitudo konstanta pasut ke-n (<i>constituent</i>) (m)
ϖ_n	=	kecepatan sudut konstanta pasut ke-n (°/jam)
g_n	=	fase konstanta pasut ke-n (°)
t_i	=	jumlah lama pengamatan
n	=	jumlah konstanta pasut
a_n, b_n	=	jarak konstanta pasut ke-n
j_n	=	waktu air tinggi (jam)

$$F = A.X \quad (2.3)$$

$$\begin{bmatrix} Ht_1 \\ \dots \\ Ht_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\varpi_1 t_1) & \sin(\varpi_1 t_1) & \dots & \cos(\varpi_n t_1) & \sin(\varpi_n t_1) \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(\varpi_1 t_i) & \sin(\varpi_1 t_i) & \dots & \cos(\varpi_n t_i) & \sin(\varpi_n t_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ \dots \\ a_n \\ b_n \end{bmatrix}$$

$$X = (A^T.A)^{-1}.(A^T.F) \quad (2.4)$$

dimana F adalah matriks pengamatan, A = matriks desain dan X = matriks parameter.

2.2.4 Tinggi Muka Air Laut (Water Level)

Variasi tinggi muka laut di suatu tempat dapat dinyatakan sebagai superposisi dari berbagai komponen harmonik pasang surut. Dengan demikian tinggi muka air pada suatu saat t_n dapat dituliskan dalam persamaan (2.5) (Thomson dan Emery 1998):

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n - \phi_q) \quad (2.5)$$

Di mana:

$x(t_n)$	=	tinggi muka air pada waktu t_n (jam)
\bar{x}	=	tinggi muka air rata-rata dari suatu referensi yang ditentukan (m)
C_q	=	amplitudo komponen pasut di tempat pengamatan (m)
f_q	=	frekuensi dari gelombang tiap komponen Pasut (1/jam)
ϕ_q	=	fase gelombang komponen pasut pada $t=0$ (°)
M	=	jumlah komponen pasut pembentuk superposisi

Analisis harmonik umumnya didasarkan pada data dengan panjang pengamatan tertentu sehingga besaran amplitudo dan fase yang dihasilkan masih bergantung kepada beberapa komponen yang memiliki periode panjang, misalnya periode 18,6 tahun. Untuk dapat memperhitungkan komponen-komponen tersebut maka perlu dilakukan koreksi terhadap besaran amplitudo dan fase, yang disebut koreksi nodal. Faktor koreksi nodal diberi simbol f_n untuk koreksi amplitudo dan u_n untuk koreksi fase. Artinya untuk setiap komponen maka besarnya amplitudo dan fase akan senantiasa berubah-ubah secara periodik dengan periode 18,6 tahun. Dengan demikian maka tinggi muka air di suatu tempat pada waktu tertentu dapat dituliskan dengan persamaan (2.6) (Pugh 1987) berikut ini:

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q f_n \cos(2\pi f_q t_n - \phi_q + (V_n + u_n)) \quad (2.6)$$

Di mana :

- f_n = faktor koreksi nodal untuk amplitudo komponen harmonik ke-n (m)
- u_n = faktor koreksi nodal untuk fase komponen harmonik ke-n ($^{\circ}$)
- V_n = argumen astronomis yaitu harga argumen dari pasut setimbang dari komponen ke-n pada saat $t=0$, yang dihitung di Greenwich.
- C_q = amplitudo komponen pasut di tempat pengamatan (m)
- f_q = frekuensi dari gelombang tiap komponen Pasut (1/jam)
- ϕ_q = fase gelombang komponen pasut pada $t=0$ ($^{\circ}$)
- M = jumlah komponen pasut pembentuk superposisi

2.2.5 Sifat dan Karakteristik Pasut

Bentuk (tipe) pasut yang timbul berbeda-beda tergantung pada tempat pasut tersebut terjadi. Klasifikasi dari bentuk-bentuk pasut ini berdasarkan perbandingan antara jumlah amplitudo komponen-komponen diurnal K1 dan O1 dengan jumlah amplitudo komponen-komponen semi diurnal M2 dan S2. Perbandingan ini dinyatakan dalam hubungan:

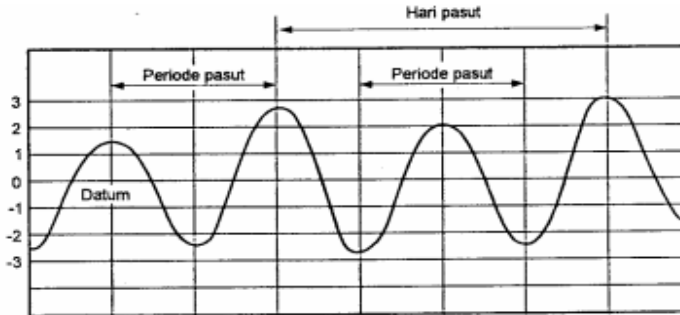
$$F = \frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \quad (2.7)$$

Menurut *Hydrographer of the Navy* (1964), dilihat dari pola gerakan muka lautnya dan nilai Formzahl, pasang surut dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu:

- a) $F \leq 0,25$, Semi *diurnal tide* atau pasut harian ganda (dua kali pasang dan dua kali surut dalam 24 jam), Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- b) $0,25 < F \leq 1,5$, Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal*) merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda.
- c) $1,5 < F \leq 3$, Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed Tide, Prevailing Diurnal*) merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu.
- d) $F > 3$, *Diurnal tide* atau pasut harian tunggal (satu kali pasang dan satu kali surut dalam 24 jam), Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

2.2.6 Gerakan Pasut

Gerakan vertikal pasut menurut sifatnya dibagi dua, yaitu gerakan periodik yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi bulan dan matahari serta variasi non pasut yang disebabkan oleh faktor-faktor non astronomis yang mempengaruhi tinggi pasut yaitu kedalaman perairan, keadaan meteorologi serta faktor hidrografis lainnya. Tinggi pasang surut adalah amplitudo total dari variasi muka air tertinggi dan air terendah. Kinematika pasut pada suatu tempat dapat digambarkan sebagai fluktuasi tinggi terhadap waktu.



Gambar 2. 3 Gelombang Pasut (Triatmodjo 2009)

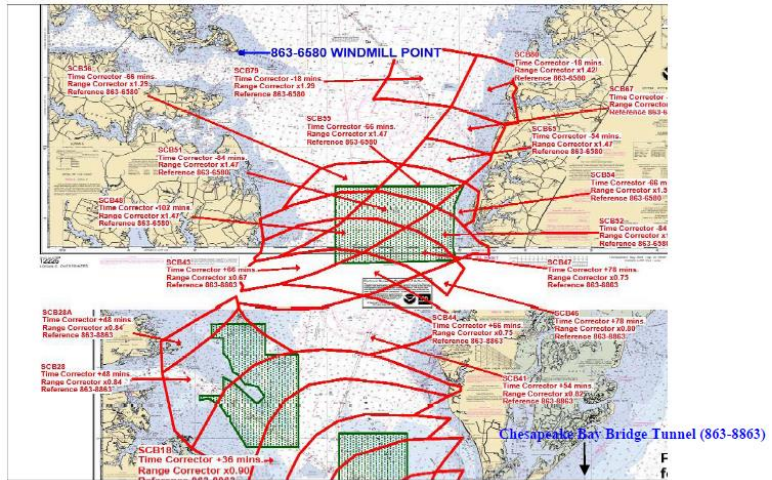
Beberapa istilah gelombang harmonik pasut antara lain (Ingham 1975) :

- a) Satu siklus adalah antara dua muka laut tertinggi yang berurutan atau antara dua muka laut terendah yang berurutan.
- b) Frekuensi adalah banyaknya siklus yang dibentuk dalam satu satuan waktu terdefinisi.
- c) Periode adalah waktu yang diperlukan dalam satu siklus, dengan satuan waktu terdefinisi.
- d) Kecepatan sudut, secara matematika dinyatakan sebesar 360° dikalikan dengan frekuensi.
- e) Air tinggi adalah muka tertinggi yang dicapai muka laut dalam satu siklus.
- f) Air rendah adalah muka terendah yang dicapai muka laut dalam satu siklus.

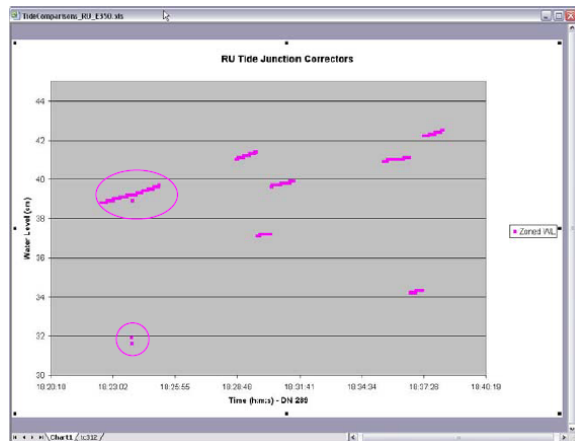
2.3 Descrete Tidal Zoning

Kesalahan pengukuran pasang surut air laut dapat disebabkan oleh tiga faktor utama yaitu kesalahan instrumen pengukur tinggi permukaan air laut, kesalahan penentuan datum yang bergantung pada lamanya waktu pengamatan pasut dan kesalahan *Tidal Zoning* yang terjadi karena perbedaan karakteristik pasut antara satu tempat dengan tempat yang lain. Untuk mengatasi kesalahan

Tidal Zoning, diperlukan pembuatan *Co-Tidal* untuk menentukan daerah-daerah yang mempunyai karakteristik pasut yang sama. Area yang memiliki karakteristik pasut sama, akan di delineasi menjadi satu area dimana pada area ini tinggi muka air laut pada waktu tertentu diasumsikan sama. Melalui analisa *Co-Tidal*, dapat diketahui perambatan fase dan amplitudo yang terjadi dari stasiun pasut ke setiap zona atau area yang telah didelineasi. Hasil dari proses ini juga sering disebut dengan *Discrete Tidal Zoning*. *Discrete Tidal Zoning* dikembangkan sebagai cara untuk memperkirakan tinggi muka air relatif terhadap *chart datum* di lokasi manapun di wilayah survei. *Discrete Tidal Zoning* adalah ekstrapolasi dan / atau interpolasi karakteristik pasang surut dari titik pantai yang diketahui ke area survei yang diinginkan dengan menggunakan perbedaan waktu dan rasio jangkauan untuk daerah diskrit yang digambarkan dari analisis garis pasang surut. Secara umum, semakin besar koreksi dan semakin lama jarak dari stasiun pengamatan pasut, semakin besar kesalahan dalam prosesnya (Cisternelli dan Martin 2017).



Gambar 2. 4 Tidal Zoning Metode Diskrit (Cisterenelli dan Martin 2017)



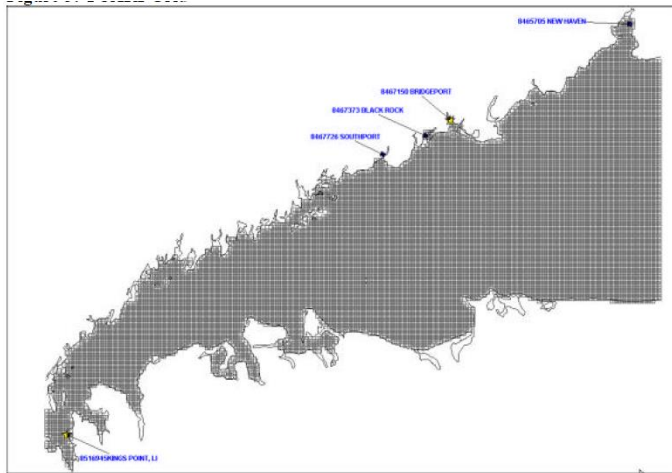
Gambar 2. 5 Diskontinuitas Di Daerah Zona Perbatasan Pada Metode Diskrit (Cisterenelli dan Martin 2017)

2.4 Metode TCARI

Pada metode pembuatan *Descrete Tidal Zoning* di atas, terjadi diskontinuitas penentuan tinggi muka air laut di daerah transisi. Untuk mengatasi masalah seperti ini, dibutuhkan metode TCARI. TCARI (*Tidal Constituent and Residual Interpolation*) dikembangkan sebagai metode alternatif untuk menghasilkan koreksi data pemeruman terhadap pasang surut air laut dalam survei hidrografi. TCARI menguraikan, secara spasial dengan menginterpolasi lalu menyusun kembali kedua komponen pasang surut dan non-pasang surut untuk menghasilkan koreksi pasut yang lebih halus dan lebih kontinyu. Ukuran grid yang dihasilkan oleh model jauh lebih tinggi daripada zona pasang surut dengan metode diskrit. TCARI dapat digunakan untuk memperkiraan pasang surut astronomi lokal dengan cara:

- a) Secara spasial menginterpolasi amplitudo dan fase pasang surut ke lokasi tertentu dan kemudian merekonstruksi kembali pasang surut astronomi dengan menjumlahkan unsur-unsur penyusunnya
- b) Secara spasial menginterpolasi residu, atau efek non-pasang surut Residu dibuat dengan mengurangi nilai tinggi muka air yang diprediksi dari nilai air yang diamati
- c) Secara spasial menginterpolasi *offset* datum (*Mean Sea Level* (MSL) dikurangi *Mean Lower Low Water* (MLLW)).

Besarnya koreksi pasang surut air laut dapat diketahui dengan menjumlahkan ketiga variabel ini (pasang surut astronomi, residu, dan *offset* datum), pada suatu sel grid tertentu sesuai dengan lokasi titik dalam sebuah survei hidrografi.



Gambar 2. 6 Hasil Gridding TCARI (Cristernelli dan Gill 2014)

2.5 Persamaan Laplace

Dalam metode TCARI digunakan persamaan Laplace sebagai dasar interpolasi amplitudo dan fase dari setiap kostanta pasut dari setiap stasiun pasut ke titik-titik hasil *gridding*. Adapun persamaan Laplace adalah sebagai berikut (Hess, Schim, dan Zerviqs 2004):

$$\frac{\partial G}{\partial x^2} + \frac{\partial G}{\partial y^2} = 0 \quad (2.8)$$

$$G(x_m, y_m) = G_m^0$$

m adalah indeks dari stasiun-stasiun pasut yang digunakan, sedangkan G adalah nilai yang diketahui pada satu titik dan x, y adalah posisi dari titik yang ingin diketahui nilainya. Dalam rangka mempercepat proses komputasi dan ruang penyimpanan (memori), dilakukan penyederhanaan rumus Laplace menjadi seperti berikut:

$$G(x, y) = \sum_{m=1}^M g(x, y, m) G_m^0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial g}{\partial x^2} + \frac{\partial g}{\partial y^2} = 0$$

$$g(x_i, y_i, m) = \delta_m$$

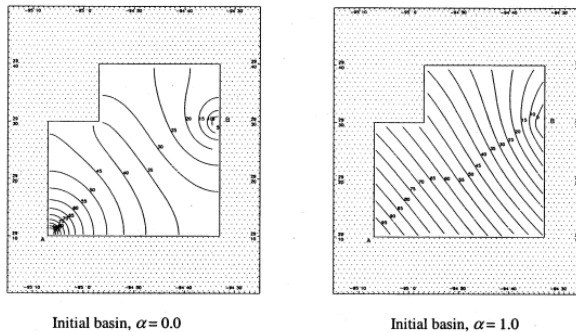
Sehingga untuk dapat menyelesaikan persamaan tersebut dibutuhkan *field* bobot yang ditentukan berdasarkan persamaan *boundary condition* mengacu pada formula berikut:

$$\frac{\partial g}{\partial \zeta} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial g}{\partial \zeta} = \alpha \frac{\bar{g}}{\partial \zeta} \quad (2.11)$$

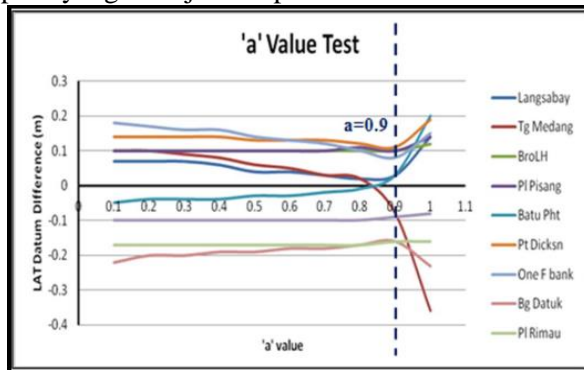
$$0 \leq \alpha \leq 1$$

Rumus 2.10 berlaku untuk titik yang berada pada garis pantai (batas tepi pemodelan) dimana nilai yang akan diinterpolasi telah diketahui. Sedangkan rumus 2.11 berlaku untuk titik-titik yang akan dicari nilai interpolasinya. $\partial \zeta$ adalah sudut dengan arah tegak lurus terhadap *shoreline*. Penggunaan nilai alfa (α) akan berpengaruh terhadap hasil kontur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

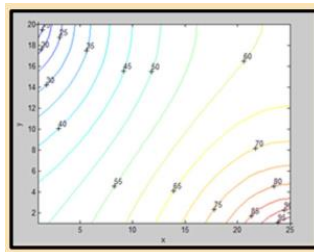


Gambar 2. 7 Efek Nilai Alfa (α) yang Digunakan Terhadap Hasil Kontur (Hess, Schim dan Zerviqs 2004)

Nilai alfa yang mendekati nol, akan menyebabkan pengumpulan kontur (α) di titik yang diketahui nilainya (*packing countur*), tetapi garis kontur akan tegak lurus terhadap batas pemodelan (*shoreline*) sesuai yang diharapkan (*ideal*). Sedangkan penggunaan alfa (α) = 1, garis kontur tidak akan bertemu secara tegak lurus terhadap batas pemodelan (*shoreline*), tetapi permasalahan *packing countur* dapat teratasi. Maka dari itu, dalam penelitian ini digunakan $\alpha=0,9$ sebagai nilai tengah. Nilai ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah melakukan uji penggunaan α . Berdasarkan uji tersebut, hasil kontur akabn berubah secara signifikan setelah melewati nilai 0,9. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



(a)

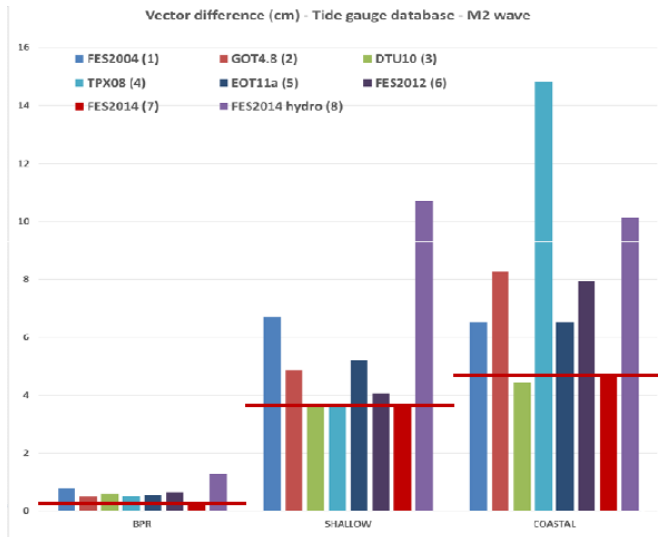


(b)

Gambar 2. 8 (a) Uji Nilai Alfa (α) (b) Kontur yang Dihasilkan (Gunathilaka dan Mahmud 2014).

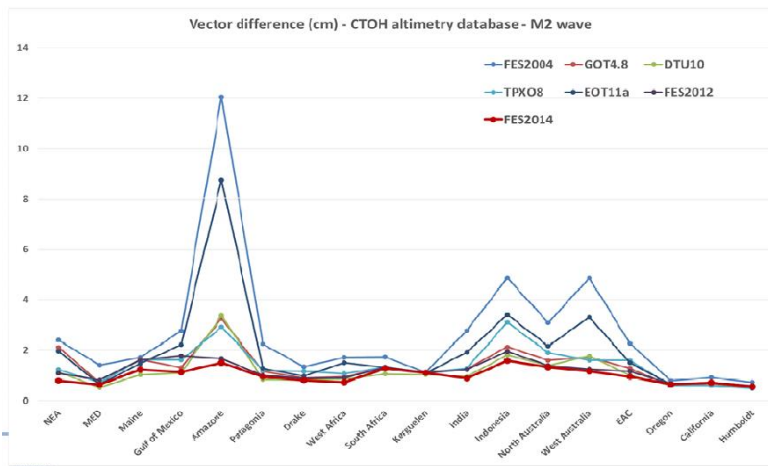
2.6 Model Pasut Global

Model pasut global terdiri dari banyak konstanta pasang surut air laut yang diperoleh dari pengamatan tinggi muka air laut oleh beberapa misi Satelit Altimetri pada seluruh permukaan bumi yang tertutup air (laut) dalam suatu periode tertentu. Kostanta-kotsanta pasut ini disajikan dalam sebuah grid, dimana resolusi spasial dari masing-masing grid model pasut global sangat bervariasi dan terus berkembang dari waktu ke waktu, mengingat satelit altimetri yang diluncurkan juga terus mengalami perkembangan. Ada beberapa model pasut global, diantaranya FES2004, TPX08, FES2004, GOT4.8, EOT11a, FES2014 Hydro, DTU10, dan FES2012. Masing-masing dari model tersebut divalidasi dengan data pengamatan pasut menggunakan *tide gauge* secara langsung. Hasil proses validasi spektral model-model tersebut terhadap data pasut pengamatan *tide gauge* menunjukkan perbedaan seperti Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 *Spectral Validation – Tide Gauge* di Beberapa Karakteristik Laut (Carerre, dkk 2015)

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa DTU10 dan FES2014 mempunyai akurasi yang lebih baik dibandingkan model pasut yang lain dengan studi kasus di daerah perairan laut dangkal, pesisir, dan perairan lepas. Sedangkan tingkat akurasi model FES2014 juga bergantung kepada karakteristik batimetri (topografi dasar laut) suatu negara yang masing-masing dapat dilihat pada gambar berikut. Pada gambar tersebut terlihat bahwa di Daerah Indonesia FES2014 rata-rata hanya memiliki perbedaan kurang dari 2 cm dengan data pengamatan *tide gauge* secara langsung.



Gambar 2. 10 *Spectral Validation – Tide Gauge* di Beberapa Negara (Carerre, dkk 2015)

2.7 FES2014 (*Finite Element Solution*)

FES2014 adalah versi terakhir dari model pasut FES (*Finite Element Solution*) yang dikembangkan pada tahun 2014-2016. FES2014 memanfaatkan rangkaian waktu altimeter yang lebih lama dan standar altimeter yang lebih baik, teknik pemodelan dan asimilasi data yang lebih baik, batimetri laut yang lebih akurat dan *mesh* yang lebih halus di sebagian besar wilayah perairan dangkal. Model pasut global ini telah dirancang khusus dan didedikasikan

untuk mengatasi masalah pasang surut non-linier utama dan penentuan arus pasang surut yang akurat. FES2014 didasarkan pada resolusi persamaan barotropik pasang surut (model T-UGO) dalam konfigurasi spektral.

Dalam sebuah grid FES2014 digunakan ~ 2,9 juta *node*, 50% lebih banyak dari FES2012. Model fisik FES2014 telah diperbaiki, sehingga formula '*free*' *solution* menjadi hampir dua kali lebih akurat (terlepas dari data in situ dan remote sensing) daripada versi FES2012 sebelumnya. Kemudian keakuratan '*free*' *solution* ini diperbaiki dengan mengasimilasi data altimetri jangka panjang (Topex / Poseidon, Jason-1, Jason-2, TPN-J1N, dan ERS-1, ERS-2, ENVISAT) dan alat pengukur pasang surut melalui metode asimilasi repren yang lebih baik. FES2014a versi awal telah diproduksi pada tahun 2015 berdasarkan gelombang GOT4v8ac. Kemudian efek pemuatan pasang surut baru telah dihitung dengan menggunakan perairan samudera FES2014a. Efek pemuatan gelombang FES2014a ini telah digunakan untuk menghasilkan versi model akhir yang dicatat FES2014b menurut *website* AVISO yang diakses pada tahun 2017 adalah sebagai berikut (Carrere, dkk 2015):

$$\begin{aligned} & \text{FES2014b } \textit{geocentric (elastic) tide} \\ & = \text{gelombang laut FES2014b} + \text{FES2014a } \textit{loading tide}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.8 Regresi Linier

Dalam rangka menguji kebenaran suatu *tidal zoning* dapat dilakukan dengan melihat korelasi pada konstanta yang dimodelkan terhadap model pasut yang lain. Dalam penelitian ini digunakan model pasut global FES2014 sebagai data pembanding. Uji Korelasi dilakukan berdasarkan prinsip regresi linier. Regresi adalah regresi yang variabel bebasnya (variabel X) berpangkat paling tinggi satu. Untuk regresi linier sederhana, yaitu regresi linier yang hanya melibatkan dua variabel (variabel X dan Y),

menurut persamaaan garis regresinya dapat dituliskan dalam bentuk (Hasan 2013):

$$X = a + bX \quad (2.13)$$

Keterangan:

X=Variabel Terikat

Y=Variabel Bebas

a=intersep

b=koefisien regresi / slop

Persamaan regresi di atas dapat pula dituliskan dalam bentuk:

$$Y = \left(\frac{\sum xy}{\sum x^2} \right) x \quad (2.14)$$

Nilai a dan b dihitung berdasarkan formula berikut (Hasan 2013):

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.15)$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (2.16)$$

2.9 Penelitian Terdahulu

Dari penelitian terdahulu telah dijelaskan tentang kelebihan metode TCARI dibandingkan dengan metode diskrit, prosedur-prosedur dalam melakukan TCARI dan proses kontrol kualitas data hasil model *Tidal Zoning* metode TCARI menggunakan data GDR satelit altimetri.

Cisternelli dan Martin (2017) menjelaskan tentang perbandingan antara metode pembuatan *tidal zoning* menggunakan metode TCARI dan Diskrit. Pada metode diskrit interpolasi dilakukan berdasarkan posisi 1 titik stasiun pasut. Sehingga ketika digunakan data pengamatan lebih dari 1 stasiun pasut, terjadi

diskontinuitas pada zona transisi. Pada zona ini terjadi perbedaan nilai koreksi (tinggi muka air) pada suatu titik di waktu tertentu. Hal ini bisa diatasi dengan metode TCARI. Dengan metode TCARI, interpolasi dilakukan pada masing-masing data pengamatan (observasi), prediksi dan residu. Hasil koreksi pasut merupakan penjumlahan dari tiga komponen ini. Kurva yang dihasilkan bereferensi terhadap MLLW (*Mean Lower Low Water*).

Sedangkan pada tahun sebelumnya, Cisternelli dan Gill (2014) telah melakukan penelitian yang menjejelaskan tentang tahap-tahap dalam melakukan pembuatan tidal zoning menggunakan metode TCARI. Dalam proses penerapan metode TCARI dibutuhkan beberapa software, di antaranya sebagai berikut:

- a) Program A: Berfungsi dalam proses pembuatan grid (*gridding*). Data-data yang dibutuhkan dalam proses ini di antaranya adalah informasi *latitude* dan *longitude* yang membatasi area pemodelan, ukuran *cell* (nmi), posisi stasiun pasut yang digunakan, daftar konstituen, datum, dan data pengamatan dari tiap stasiun pasut yang digunakan.
- b) Program B : Berfungsi untuk menerapkan *weighting function* berdasarkan persamaan LaPlace.
- c) Program C : Berfungsi untuk menghitung nilai koreksi pasut di setiap titik. Data yang dibutuhkan untuk melakukan proses ini adalah jalur dan waktu pemeruman, nilai 3 varabel (konstituen pasut, residual dan *offsets*). Di mana konstituen pasut ini dinyatakan dalam dalam fase dan amplitudo.

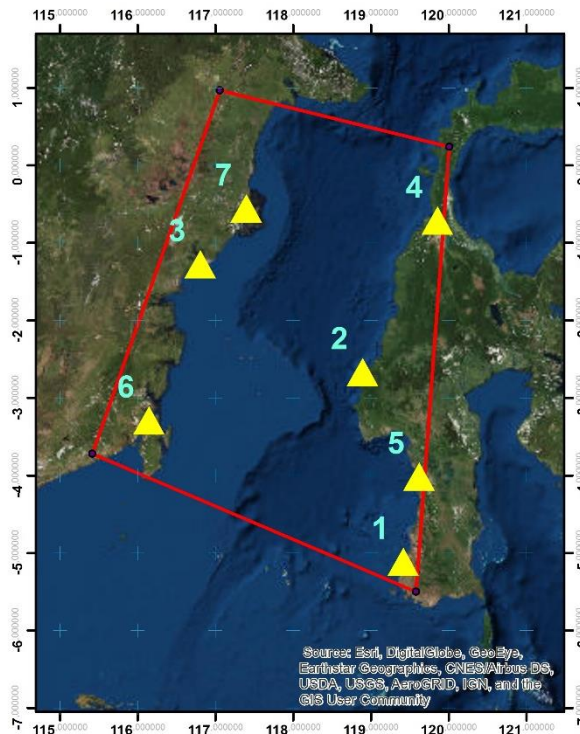
Untuk menguji tingkat kesesuaian hasil *tidal zoning*, Gunathilaka dan Mahmud (2014) melakukan kontrol kualitas model yang digunakan, yaitu menggunakan data satelit altimetri. Hasil *grid* yang dihasilkan oleh model *tidal zoning* dibandingkan dengan hasil pengolahan data satelit altimetri. Ketika hasil prediksi

pasut oleh model tidak mempunyai perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil prediksi satelit altimetri, maka hasil model *tidal zoning* tersebut dapat dikatakan telah sesuai. Proses pengolahan data satelit altimetri dilakukan melalui penentuan SSH (*Sea Surface Height*) yang telah terkoreksi oleh beberapa kesalahan seperti *sea satte bias*, *ionospheric delay*, *dry and wet trophospheric corrections*, *electromagnetic bias* dan *inverse barometer correction* dengan memanfaatkan data RADS (*Radar Altimetry Database System*).

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi

Lokasi dalam penelitian ini adalah di Selat Makassar, terletak pada $115^{\circ}25'3,7''$ BT – $120^{\circ}0'34,8''$ BT dan $5^{\circ}30'4,8''$ LS – $0^{\circ}57'52,36''$ LU. Selat Makassar merupakan selat yang terletak di antara Pulau Kalimantan dan Sulawesi serta menghubungkan Laut Sulawesi di bagian utara dengan Laut Jawa yang ada di bagian selatan.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian dan Persebaran Stasiun Pengamatan Pasut di Selat Makassar

3.2 Data dan Peralatan

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Data Pasut

Data ini berisi data pengamatan pasut dari beberapa stasiun pasut di pesisir timur Pulau Kalimantan dan pesisir barat Pulau Sulawesi. Adapun persebaran lokasi stasiun pasut yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 3.1 dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Koordinat Stasiun Pasut

No	Nama	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Lokasi
1	Makassar	5,112	119,417	Dermaga pangkalan utama TNI AL Makasar
2	Mamuju	2,667	118,893	Dermaga Pelabuhan Mamuju
3	Balikpapan	1,272	116,806	Pelabuhan Semayang
4	Pantoloan	0,712	119,857	Pelabuhan PT.Pelindo IV Pantoloan
5	Pare-pare	4,014	119,620	Pelabuhan PT. Pelindo IV Pare-Pare
6	Kotabaru	3,291	116,146	Pelabuhan PT.Pelindo III Kotabaru
7	Delta Mahakam	0,553	117,399	PT Pageo Utama

b. Data Pemeruman

Tidal Zoning yang telah berhasil dimodelkan dan telah sesuai hasilnya, kemudian digunakan untuk mengkoreksi hasil pemeruman dan dibandingkan dengan hasil metode koreksi pasut pada umumnya untuk mennguji efektifitas model. Sehingga dalam hal ini dibutuhkan suatu data pemeruman di Selat Makassar. Data ini merupakan satu paket data hasil pengukuran *multibeam echosounder* beserta *file sound velocity profiler*, meta data kesalahan *roll, pitch, yaw, draft tranducer*, dan sebagainya, yang digunakan sebagai parameter koreksi selain koreksi pasut.

c. Model Pasut Global FES2014

Model Pasut Global FES2014 digunakan sebagai data pembanding dari model yang dihasilkan dengan cara melakukan uji korelasi antara *tidal zoning* yang dihasilkan terhadap model pasut global.

d. Vektor Batas Selat Makassar

Vektor batas (*boundary*) dibutuhkan sebagai batas wilayah pemodelan pada tahap *griding* menggunakan *software* Pydro. Format data ini adalah .shp yang terdiri dari pulau-pulau di seluruh wilayah Indonesia yang kemudian akan dipilih pulau-pulau yang bebatasan dengan Selat Makassar untuk penentuan garis pantai sebagai pembatas antara daratan dan lautan. Garis pantai yang digunakan adalah GSHHG (*A Global Self-consistent, Hierarchial, High-resolution Geography Database*).

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Matlab R2014a

Dalam penelitian ini *Software* MATLAB berperan penting dalam pengolahan data penagamatan pasang surut di setiap stasiun pasut untuk menampilkan data pasut observasi,

prediksi dan residu dalam bentuk grafik sehingga proses analisa dapat berjalan lebih mudah. Konstituen hasil pengolahan data pasut menggunakan metode *least square* dari *software* ini juga merupakan produk utama yang akan dijadikan sebagai *data input* dalam proses pengolahan selanjutnya.

b. Pydro

Pydro digunakan untuk proses pembuatan model *tidal zoning*. Dalam *software* ini dilakukan proses *gridding* dan pembobotan berdasarkan persamaan La Place. Pada *software* ini hasil pemodelan prediksi pasang surut dapat di-*download* untuk ditampilkan sebagai grafik dan atau dapat langsung diterapkan untuk mengkoreksi data hasil pemeruman sesuai dengan wilayah survei. Secara garis besar, kegunaan *software* Pydro dalam penelitian ini adalah untuk mengolah data pasang surut secara spasial dan lebih berfokus dalam hal interpolasi dan zonasi wilayah pasut.

c. Caris HIPS and SIPS

Caris HIPS and SIPS digunakan sebagai *software* pengolah data pemeruman. Dalam proses pengolahan data pemeruman dilakukan berbagai macam koreksi, termasuk koreksi pasut. Pada proses koreksi pasut, Caris HIPS and SIPS digunakan bersama-sama dengan *software* Pydro untuk dapat menerapkan koreksi hasil model *Tidal Zoning* pada sebuah data pemeruman.

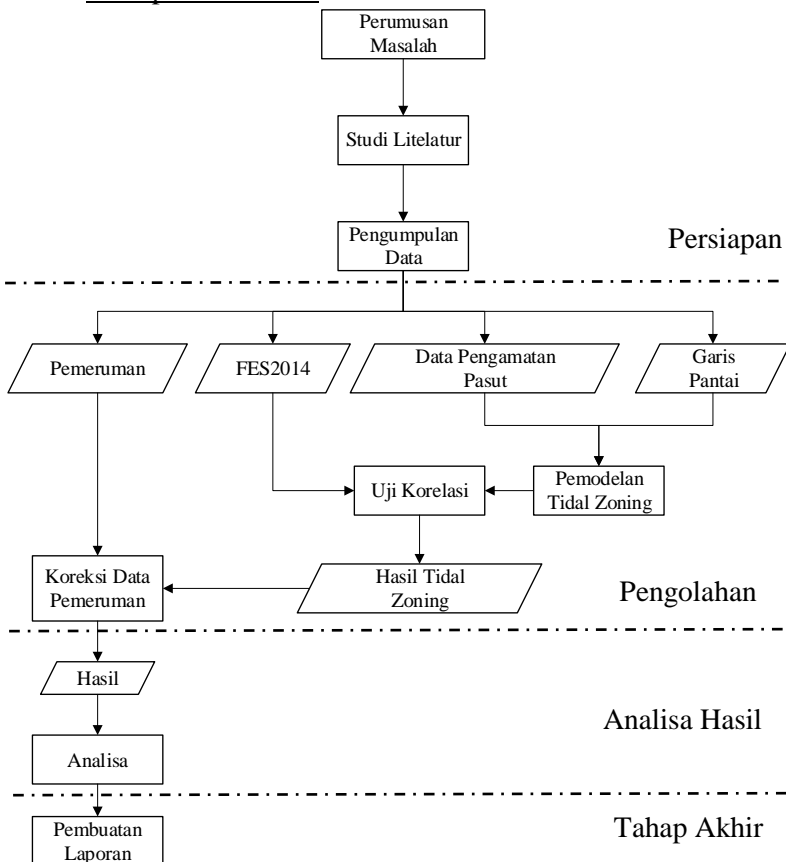
d. ArcGIS 10.3

ArchGIS berfungsi untuk *layouting* dan finalisasi penyajian data hasil pengolahan. Selain itu, ArcGIS juga berfungsi untuk menampilkan *data output* dari beberapa *software* sebelum dilakukan analisa.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan beberapa tahap, yaitu tahap persiapan, pengolahan data, analisa hasil dan tahap akhir berupa pembuatan laporan. Keempat tahap tersebut akan dijelaskan pada Gambar 3.2, sedangkan proses pengolahan data secara lebih rinci akan dijelaskan oleh diagram alir Gambar 3.3 pada sub-bab Tahap Pengolahan Data.

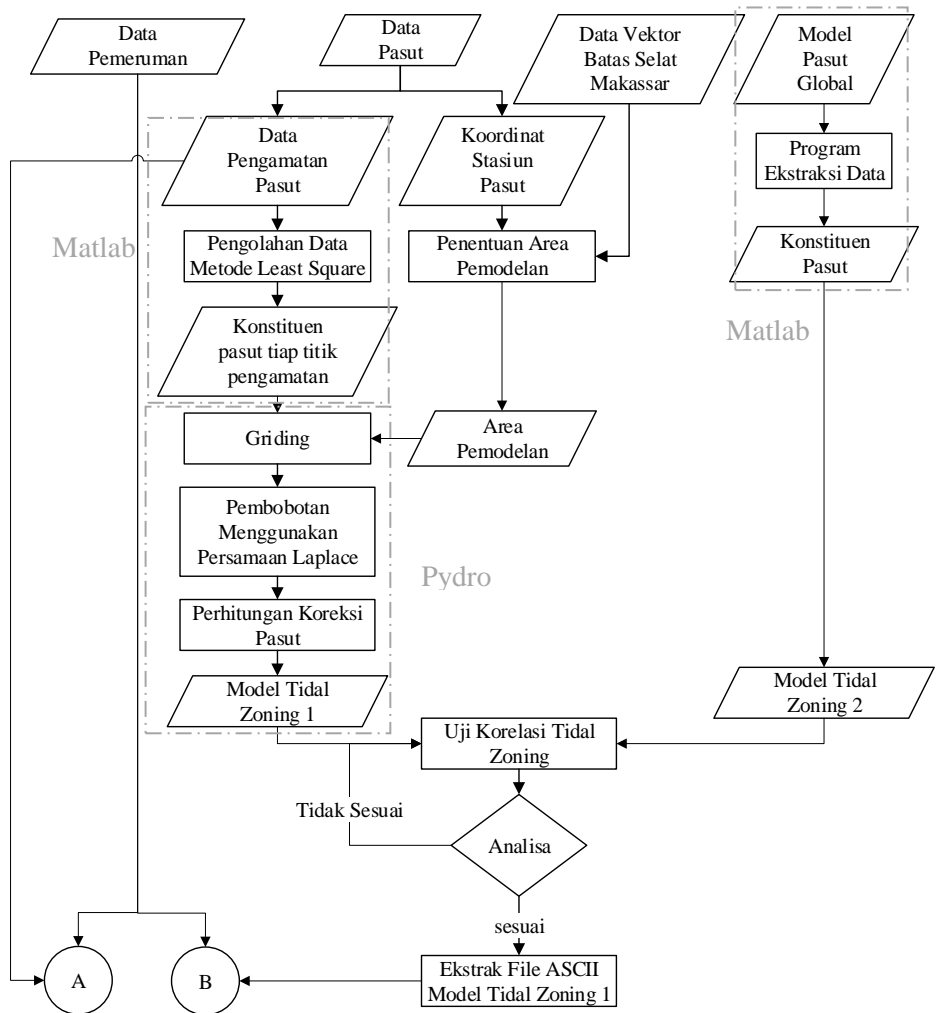
3.3.1 Tahap Pelaksanaan



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan yang meliputi kegiatan perumusan masalah untuk merumuskan tujuan dari penelitian dan ditunjang dengan studi literatur untuk memahami dasar-dasar teori yang terkait dengan penelitian. Setelah itu dilakukan pengumpulan data berupa data pemeruman, pengamtan pasang surut air laut, model pasut global FES2014 dan data garis pantai Selat Makassar. Tahap ke-dua yaitu pengolahan data, yang akan dijelaskan secara lebih rinci pada sub-bab 3.3.2. Pada tahap ke-tiga dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data untuk mengambil beberapa kesimpulan. Keseluruhan proses dan hasil penelitian pada tahap akhir akan ditulis ke dalam bentuk laporan sebagai bentuk pertanggungjawaban dan publikasi karya ilmiah yang mudah dipahami dan dimengerti dengan baik.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian 1

Adapun uraian penjelasan dari tahap-tahap dalam diagram alir bagian 1 tersebut adalah sebagai berikut:

A. Ekstraksi Kostanta Pasut Observasi

Data observasi pasang surut air laut dari titik-titik stasiun pasut yang telah ditetapkan diolah dengan metode *least square* menggunakan *software* Matlab untuk mendapatkan 11 konstituen pasut (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, MF, MM, M4, dan MS4). 11 konstituen ini kemudian digunakan untuk memprediksi pasut di masing-masing titik. Dengan mencari selisih antara data observasi dan prediksi, didapatkan residu. Di mana residu ini merupakan nilai yang mewakili parameter pengaruh komponen non pasut seperti *river discharge* dan pengaruh cuaca. Nilai observasi, prediksi dan residu berfungsi sebagai *data input* untuk melakukan interpolasi dan pembobotan berdasarkan persamaan LaPlace pada *software* Pydro. Selain itu, informasi koordinat titik-titik pengamatan pasut juga dibutuhkan untuk menentukan cakupan area pemodelan sebelum proses *gridding* dilakukan.

B. Ekstraksi Kostanta Pasut FES2014

Di sisi lain, ekstraksi konstituen pasut juga dilakukan pada model pasut global FES2014. Proses ini diawali dengan pembuatan program sederhana untuk mengambil informasi 11 kostanta pasut sesuai area penelitian, yaitu Selat Makassar. Model pasut global FES2014 memiliki format *file* berupa netCFD (.nc). Dari program tersebut, didapatkan grid yang berisi nilai 11 kostanta pasut di masing-masing titik. Berdasarkan analisa nilai kostanta pasut FES2014, didapatkan model *Tidal Zoning 2* yang menjadi data pembanding dari *Tidal Zoning 1*, yang merupakan hasil proses pengolahan dari *Software* Pydro.

C. Pembuatan *Tidal Zoning* Menggunakan Pydro

Pada *Software* Pydro pertama kali yang harus dilakukan adalah menentukan area pemodelan dengan mempertimbangkan batas area pemodelan berupa vektor garis pantai yang mengelilingi Selat Makassar dan koordinat stasiun pasut yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah area pemodelan telah ditentukan, selanjutnya dilakukan proses *gridding* menggunakan metode TIN (*Triangular Irregular Network*). Data hasil pengolahan Matlab berupa 11 konstituen pasut dan data observasi pasut di masing-masing titik digunakan sebagai *data input* untuk melakukan pembobotan dan interpolasi berdasarkan persamaan Laplace pada model grid yang telah dibuat. Hasil dari proses ini adalah berupa *tidal zoning* dengan *file* berformat *.tc*. Dari *tidal zoning* berformat *.tc* ini kemudian dilakukan ekstraksi water level di daerah pemeruman berdasarkan rumus 2.5 yang telah dibahas pada BAB II. Dalam penelitian ini tidak digunakan formula 2.6 untuk menentukan tinggi muka air laut, karena amplitudo dan fasenya diperoleh dari data dengan periode pengamatan tidak sampai 18,5 tahun. Sehingga tidak perlu memperhatikan parameter koreksi nodal.

D. Uji Korelasi Model *Tidal Zoning* terhadap Model Pasut Global FES2014

Model *tidal zoning* 2 digunakan sebagai data pengontrol kualitas tingkat kebenaran dari proses model *tidal zoning* 1. Proses kontrol kualitas ini dilakukan melalui uji korelasi terhadap nilai konstanta pasut pada titik-titik ICP (*Independent Control Point*) sebagai koordinat sekutu pada kedua model. Analisa uji korelasi dilakukan berdasarkan rumus koefisien korelasi linier sederhana Pearson *Least Square* sebagai berikut (Hasan 2013):

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \quad (3.1)$$

Di mana:

r = Koefisien Korelasi

x = Deviasi Rata-rata Variabel X

y = Deviasi Rata-rata Variabel Y

n = jumlah pengamatan

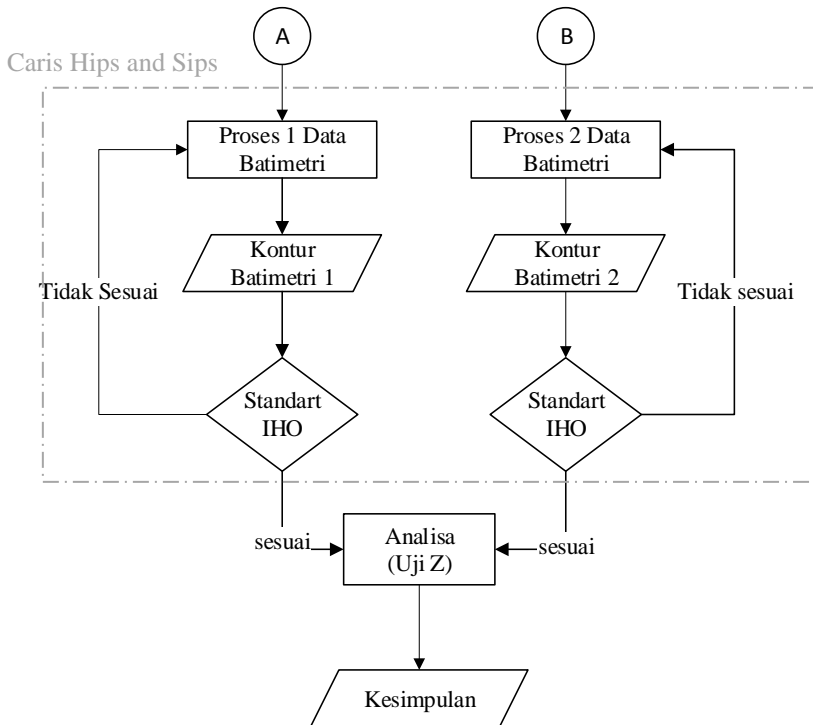
Tabel 3. 2 Korelasi Antar Variabel (Hasan 2013)

Nilai Koefisien Korelasi (r)	Kriteria
0	Tidak ada korelasi
$0 < r \leq 0,20$	Korelasi sangat rendah / lemah sekali
$0,20 < r \leq 0,40$	Korelasi rendah / lemah tapi pasti
$0,40 < r \leq 0,70$	Korelasi yang cukup berarti
$0,70 < r \leq 0,90$	Korelasi yang tinggi, kuat
$0,90 < r < 1$	Korelasi yang tinggi, kuat sekali, dapat diandalkan
1	Korelasi Sempurna

Koefisien Korelasi (KK atau r) merupakan indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur keeratan (kuat, lemah atau tidak ada) hubungan antar variabel. Koefisien korelasi memiliki nilai antara -1 dan +1 ($-1 \leq KK \leq +1$).

- Jika KK bernilai positif maka variabel-variabel berkorelasi positif. Semakin dekat nilai KK ke +1 maka semakin kuat korelasinya. Demikian pula sebaliknya.
- Jika KK bernilai negatif maka variabel-variabel berkorelasi negatif, Semakin dekat nilai KK ke -1 maka semakin kuat korelasinya. Demikian pula sebaliknya.

- c) Jika KK bernilai 0 (nol) maka variabel-variabel tidak menunjukkan korelasi.
- d) Jika KK bernilai +1 atau -1 maka variabel-variabel menunjukkan korelasi positif atau negatif yang sempurna



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Data Bagian 2

Diagram alir pengolahan data bagian 2 merupakan kelanjutan dari proses pada bagian 1 yang secara lebih lanjut akan dijelaskan pada poin E, F dan G sebagai berikut:

E. Pengolahan Data Pemeruman Menggunakan Caris HIPS and SIPS

Setelah model *tidal zoning* 1 sesuai (berkorelasi positif) dengan model *tidal zoning* 2, kemudian dilakukan ekstraksi tinggi muka air laut berdasarkan waktu dan area pemeruman dari model *tidal zoning* 1 ke dalam bentuk ASCII. Selanjutnya file ini akan berfungsi sebagai data input pada pengolahan data pemeruman proses 2 Caris Hips and Sips (Proses B). Sedangkan pada proses A, parameter koreksi pasut yang digunakan adalah data langsung dari observasi. Adapun tahap-tahap dalam pengolahan data pemeruman menggunakan Caris HIPS and SIPS adalah sebagai berikut:

1. Membuat *File Kapal*

Hal penting pertama yang dilakukan dalam pengolahan *multibeam* adalah pembuatan *file* kapal yang berisi tentang posisi sensor pada kapal yang digunakan pada saat akuisisi data *multibeam*. Posisi kapal dihitung dari letak referensi pusat kapal.

2. Membuat Projek Baru

Langkah selanjutnya setelah berhasil membuat *file* kapal, adalah pembuatan *project* baru. Tutup *window Vessel Configuration* pada tahap pembuatan *file* kapal.

3. Konversi *Raw Data*

Proses selanjutnya adalah konversi data MBES yang awalnya berformat .xtf menjadi format .hsf sehingga dapat diolah oleh *software* CARIS HIPS and SIPS.

4. *Data Editing*

Proses ini merupakan proses memasukkan SVP (*Sound Velocity Profiler*) dan pasut. Koreksi pasut dilakukan sesuai skema A dan B. Hal ini bertujuan untuk mengoreksi data batimetri.

5. Pembuatan *Base Surface*

Proses ini merupakan pembuatan gambaran dari hasil pemetaan dasar laut oleh *multibeam*.

6. Menghilangkan *Noise* dengan *Swath Editor* dan *Subset Editor*

Untuk menghilangkan *noise*, terdapat 2 tahap yaitu *Swath Editor* dan *Subset Editor*. *Noise* ini terjadi akibat adanya pancaran *ping* yang mungkin sebelum sampai ke dasar laut, menabrak objek-objek di dalam laut, seperti ikan, rumput laut atau sebagainya. Pada proses subset editor, jika sudah selesai klik *finalize surface*

7. *Export Data*

Setelah selesai proses pembersihan *noise*, maka proses terakhir adalah *exporting data*. Hasil *export* berupa *file* *ascii* yang berisi data kedalaman, koordinat dan lainnya sesuai dengan yang dibutuhkan. File *ascii* ini bisa dibuka di perangkat lunak lainnya seperti ArcGIS, AutoCAD, dan lain-lain

F. Uji Hasil Pengolahan Data Pemeruman Terhadap Standar IHO

Uji ketelitian data dilakukan pada daerah pertampalan dari masing-masing lajur dengan lajur di sampingnya dengan arah yang berlawanan, asumsinya titik-titik kedalaman pada lajur yang bertampalan atau berdekatan memiliki nilai kedalaman yang sama, namun kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa nilai kedalaman pada lajur yang bertampalan atau berdekatan bisa saja memiliki nilai kedalaman yang berbeda. Mengacu pada standar IHO S-44 tahun 2008, nilai toleransi kesalahan pertampalan lajur kanan dan kiri dihitung menggunakan persamaan (3.2) dengan tingkat kepercayaan 95%. Konstanta *a* dan *b* yang digunakan harus sesuai dengan orde survei yang digunakan sesuai standar IHO. Berikut adalah rumus toleransi kesalahan sesuai

dengan standar IHO (IHO *Standarts For Hydrographic Surveys* 2008):

$$\text{Toleransi Kesalahan} = \pm \sqrt{a^2 + (bxd)^2} \quad (3.2)$$

Keterangan :

a = faktor kesalahan yang tidak bergantung pada kedalaman

b = faktor kesalahan yang bergantung pada kedalaman

d = rata –rata kedalaman ukuran

Pada uji ketelitian ini diambil data sampel dari titik-titik kedalaman yang bertampalan atau berdekatan menggunakan *menu overlay spatial join* dalam ArcGIS untuk mendapatkan titik-titik yang bertampalan atau berdekatan, jumlah sampel pada uji ketelitian ini dibatasi sejumlah 40 pasang titik.

Sampel dari titik yang berdekatan tersebut yaitu X_n dan X_{n-1} kemudian dilakukan perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasinya. Untuk menentukan nilai rata-rata dan standar deviasi dijelaskan pada persamaan berikut (Dewantoro, Sabri dan Sasmito 2012):

$$\bar{X} = \frac{\sum X - X_{n-1}}{n} \quad (3.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

S = standar deviasi

X_n = titik kedalaman lajur n

X_{n-1} = titik kedalaman lajur n-1

\bar{X} = rata-rata selisih kedalaman antara lajur n dan lajur n-1

X_i = selisih kedalaman antara lajur n dan lajur n-1

n = banyaknya sampel

Dalam konteks standar IHO ini, dengan asumsi kesalahan distribusi normal maka tingkat kepercayaan 95% untuk kedalaman ditentukan sebesar 1,96 x standar deviasi, sehingga menurut acuan dari IHO data dapat diterima atau ditolak jika:

a. Ditolak jika: $1,96 \times \text{standar deviasi} > \sqrt{a^2 + (bxd)^2}$ atau $1,96 \times \text{standar deviasi} > -\sqrt{a^2 + (bxd)^2}$

b. Diterima jika: $-\sqrt{a^2 + (bxd)^2} < 1,96 \times \text{standar deviasi} < +\sqrt{a^2 + (bxd)^2}$

G. Uji Perbandingan Data Hasil Proses A Terhadap Hasil Proses B

Uji perbandingan data dilakukan untuk melihat apakah nilai titik kedalaman hasil pengolahan proses A dan proses B pada titik yang sama memiliki perbedaan yang signifikan. Uji perbandingan data ini dilakukan menggunakan uji Z karena jumlah sampel yang digunakan tergolong sampel besar dengan jumlah sampel lebih dari 30. Persamaan untuk mencari nilai Z_0 pada sampel yang berpasangan seperti pada persamaan 3.5.

Uji Z dalam penelitian ini menggunakan uji hipotesis dua arah untuk mengetahui apakah kedua sampel memiliki proporsi yang sama atau tidak. Berdasarkan nilai Z_0 hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan nilai Z tabel dengan tingkat kepercayaan 95%, tingkat kepercayaan 95% memiliki tingkat signifikansi sebesar 5% atau 0,05. Nilai Z tabel dengan tingkat signifikansi 5% pada uji hipotesis dua arah adalah $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$.

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_m - \bar{X}_c}{\sqrt{\frac{S^2_m}{n_m} + \frac{S^2_c}{n_c}}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

S_m^2 : varian sampel hasil pengolahan pada proses A

S_c^2 : varian sampel hasil pengolahan pada proses B

\bar{X} : rata-rata kedalaman proses A

\bar{X} : rata-rata kedalaman proses B

n_m : jumlah sampel hasil proses A

n_c : jumlah sampel hasil proses B

Hipotesis :

a. $H_0 ; \mu_1 = \mu_2$

b. $H_1 ; \mu_1 \neq \mu_2$

Sehingga:

a. H_0 ditolak jika $Z_0 > +1,96$ atau $Z_0 < -1,96$

b. H_0 diterima jika $-1,96 < Z_0 < +1,96$

Keterangan :

H_0 : hipotesis nol

H_1 : hipotesis alternatif

BAB IV

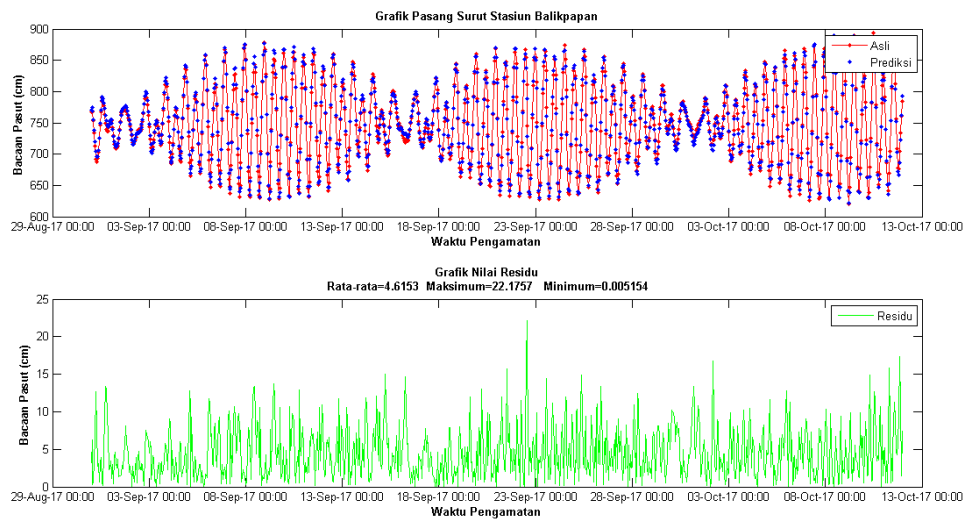
HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengolahan Data Pengamatan Pasut Di Setiap Stasiun Pasut

Data pengamatan pasang surut di masing-masing stasiun pasut dihitung menggunakan metode *Least Square*, sehingga didapatkan nilai pengamatan (data asli), prediksi dan residu (selisih antara data asli dan prediksi). Proses ini bertujuan untuk mendapatkan konstanta pasut sebagai data *input* untuk melakukan proses *tidal zoning* pada *software* Pydro. Karena adanya *noise* akibat sensor pengukur pasut tidak selalu bekerja dengan baik sepanjang pengamatan pasut selama tahun 2017, dilakukan proses interpolasi pada data yang kosong. Selain itu, pengolahan data dilakukan pada periode pengamatan pasut yang memiliki residu rata-rata kurang dari 50 cm dengan interval pengamatan 1 jam. Hasil grafik dan konstanta pasut tiap stasiun pengamatan akan dibahas pada sub bab berikut.

4.1.1 Stasiun Balikpapan

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Balikpapan menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 4,163 cm, maksimum 22,176 cm, dan minimum 0,005 cm serta RMSE sebesar 5,748 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing konstanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dari konstanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai *formzahl* sebesar 0,517 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.1. Muka air laut rata-rata (S0) terletak pada bacaan pasut 7,495 meter.



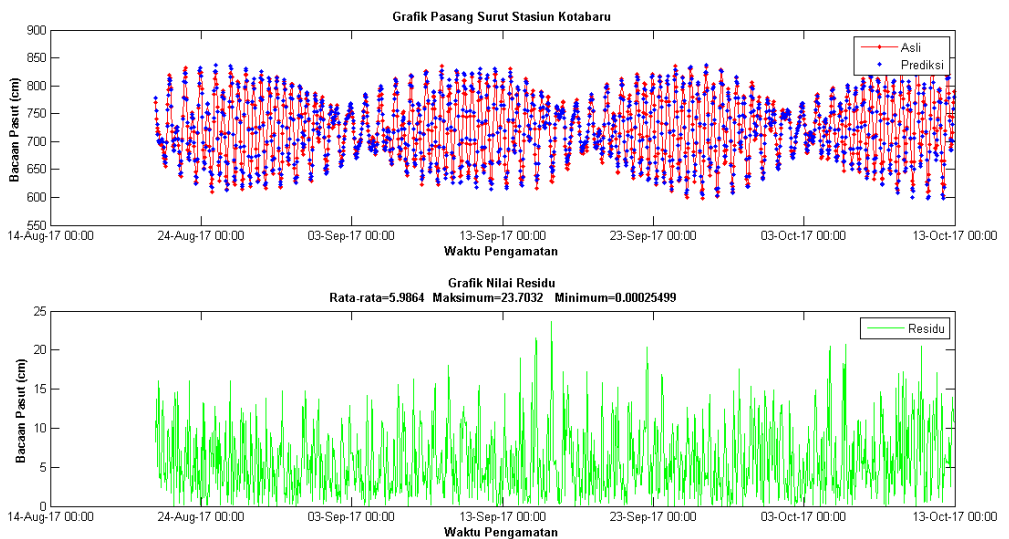
Gambar 4. 1 Grafik Pasut Stasiun Balikpapan

Tabel 4. 1 Kostanta Pasut Stasiun Balikpapan

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	62,535	114,779
2	S2	41,568	150,017
3	N2	6,813	99,672
4	K2	15,370	4,098
5	K1	20,883	101,665
6	O1	14,239	26,016
7	P1	5,255	58,907
8	Mf	1,751	123,810
9	Mm	2,527	2,185
10	M4	3,141	138,883
11	MS4	1,728	106,107
12	S0	749,501	

4.1.2 Stasiun Kotabaru

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Kotabaru menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 5,986 cm, maksimum 23,703 cm, dan minimum 0,0002 cm serta RMSE sebesar 7,432 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 0,652 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.2. Muka air laut rata-rata (S0) terletak pada bacaan pasut 7,235 meter.



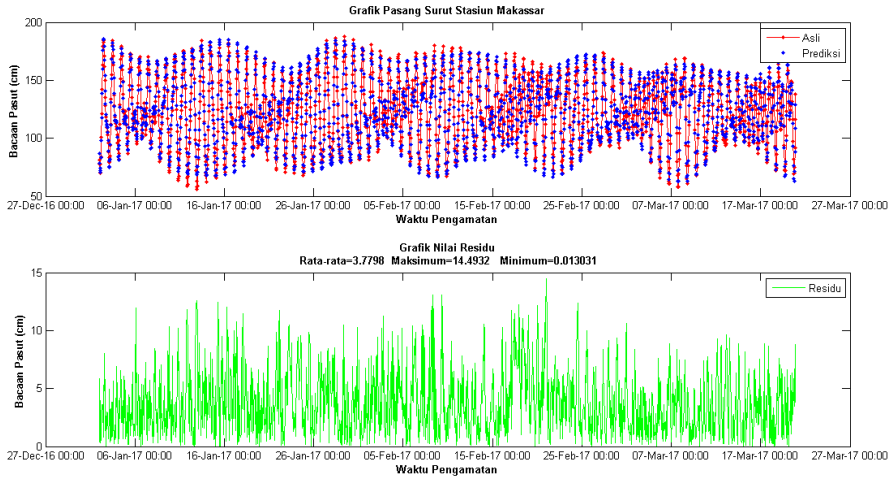
Gambar 4. 2 Grafik Pasut Stasiun Kotabaru

Tabel 4. 2 Kostanta Pasut Stasiun Kotabaru

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	46,038	23,481
2	S2	36,525	155,588
3	N2	2,127	6,327
4	K2	19,565	30,220
5	K1	33,019	139,337
6	O1	20,788	152,567
7	P1	9,572	73,175
8	Mf	1,964	46,077
9	Mm	2,502	118,185
10	M4	2,259	169,577
11	MS4	2,368	106,194
12	S0	723,487	

4.1.3 Stasiun Makassar

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Makassar menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 3,770 cm, maksimum 14,493 cm, dan minimum 0,013 cm serta RMSE sebesar 4,676 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 1,708 (pasut campuran condong harian tunggal) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.3. Muka air laut rata-rata (S0) terletak pada bacaan pasut 1,236 meter.



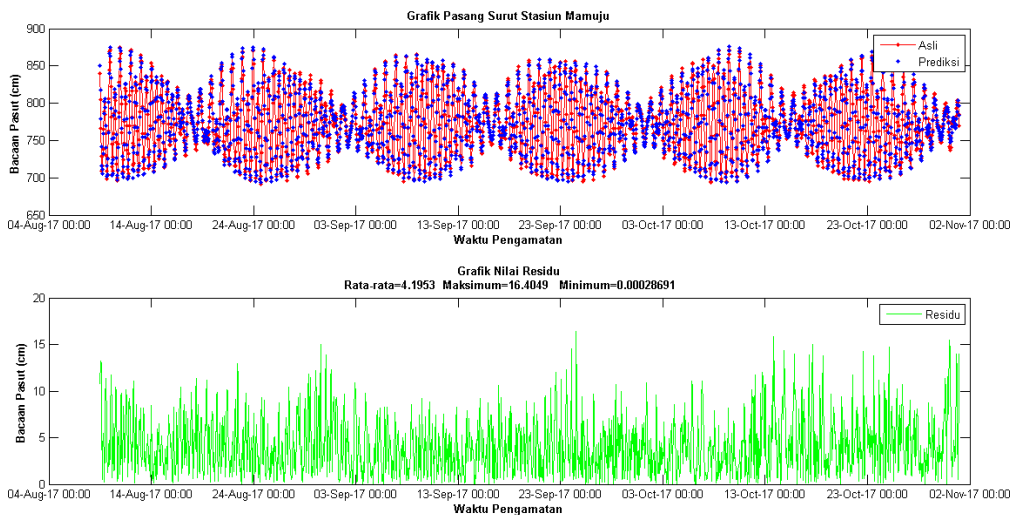
Gambar 4. 3 Grafik Pasut Stasiun Makassar

Tabel 4. 3 Kostanta Pasut Stasiun Makassar

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	11,434	99,339
2	S2	15,281	147,540
3	N2	2,705	79,662
4	K2	6,062	105,686
5	K1	28,343	174,761
6	O1	17,284	50,821
7	P1	10,845	174,511
8	Mf	0,899	162,982
9	Mm	1,773	73,108
10	M4	0,600	116,723
11	MS4	0,398	40,977
12	S0	123,579	

4.1.4 Stasiun Mamuju

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Mamuju menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 4,195 cm, maksimum 16,405 cm, dan minimum 0,0002 cm serta RMSE sebesar 5,167 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.4. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 0,517 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.4. Muka air laut rata-rata (S0) terletak pada bacaan pasut 7,739 meter.



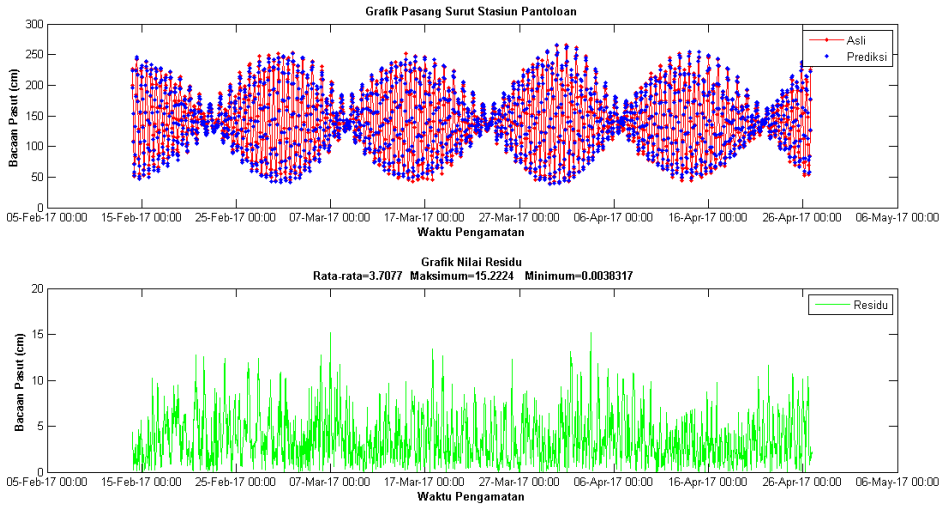
Gambar 4. 4 Grafik Pasut Stasiun Mamuju

Tabel 4. 4 Kostanta Pasut Stasiun Mamuju

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	40,199	114,501
2	S2	27,033	147,304
3	N2	5,094	166,629
4	K2	12,081	23,367
5	K1	20,405	123,126
6	O1	14,341	6,512
7	P1	7,536	18,259
8	Mf	1,341	146,477
9	Mm	2,413	101,247
10	M4	0,267	131,965
11	MS4	0,220	103,892
12	S0	773,915	

4.1.5 Stasiun Pantoloan

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Pantoloan menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 3,708 cm, maksimum 15,222 cm, dan minimum 0,004 cm serta RMSE sebesar 4.619 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.5. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 0,283 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.5. Muka air laut rata-rata (S0) terletak apada bacaan pasut 1,437 meter.



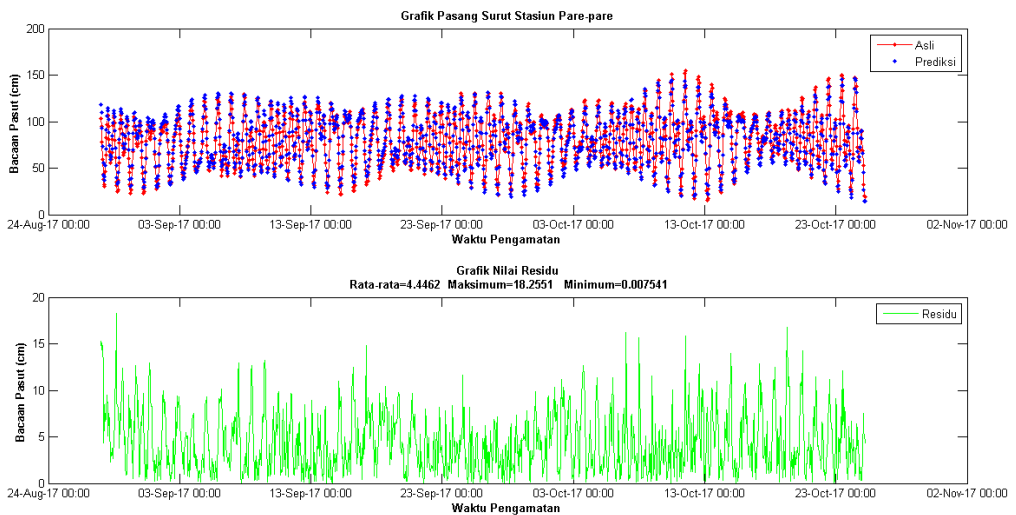
Gambar 4. 5 Grafik Pasut Stasiun Pantoloan

Tabel 4. 5 Kostanta Pasut Stasiun Pantoloan

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	55,322	144,215
2	S2	31,437	152,237
3	N2	7,238	60,441
4	K2	13,047	16,816
5	K1	14,826	83,552
6	O1	9,680	50,066
7	P1	5,035	23,599
8	Mf	0,853	123,213
9	Mm	1,456	132,091
10	M4	0,464	24,852
11	MS4	0,092	119,966
12	S0	143,681	

4.1.6 Stasiun Pare-pare

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Pare-pare menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 4,446 cm, maksimum 18,255 cm, dan minimum 0,00075 cm serta RMSE sebesar 5,474 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.6. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 1,237 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.6. Muka air laut rata-rata (S0) terletak apada bacaan pasut 0,803 meter.



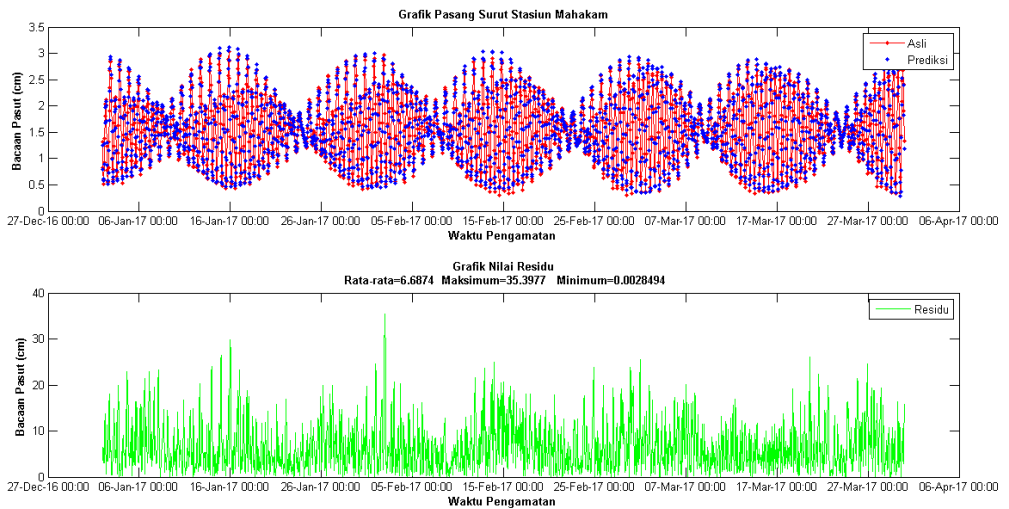
Gambar 4. 6 Grafik Pasut Stasiun Pare-pare

Tabel 4. 6 Kostanta Pasut Stasiun Pare-pare

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	15,503	14,493
2	S2	17,601	141,288
3	N2	0,788	72,438
4	K2	7,799	34,790
5	K1	24,563	118,732
6	O1	16,385	146,524
7	P1	6,707	50,996
8	Mf	1,004	13,572
9	Mm	3,083	62,777
10	M4	0,625	31,633
11	MS4	1,174	93,462
12	S0	80,338	

4.1.7 Stasiun Mahakam

Pada hasil pengolahan data pasut di stasiun Mahakam menunjukkan bahwa nilai residu rata-rata 6,6874 cm, maksimum 35,398 cm, dan minimum 0,003 cm serta RMSE sebesar 8,543 cm. Nilai amplitudo dan fase masing-masing kostanta pasut dapat dilihat pada Tabel 4.7. Dari kostanta pasut K1, O1, M2 dan M2 didapatkan nilai formzahl sebesar 0,351 (pasut campuran condong harian ganda) yang secara tidak langsung dapat ditunjukkan oleh pola gerakan gelombang pasut pada Gambar 4.7. Muka air laut rata-rata (S0) terletak apada bacaan pasut 1,578 meter.



Gambar 4. 7 Grafik Pasut Stasiun Mahakam

Tabel 4. 7 Kostanta Pasut Stasiun Mahakam

NOMOR	KOSTANTA	AMPLITUDO (cm)	FASE (°)
1	M2	64,153	61,944
2	S2	45,727	40,077
3	N2	8,156	117,422
4	K2	15,542	169,052
5	K1	22,946	107,193
6	O1	15,591	150,795
7	P1	9,409	109,411
8	Mf	2,081	109,262
9	Mm	2,569	142,647
10	M4	2,141	106,753
11	MS4	0,992	171,378
12	S0	157,817	

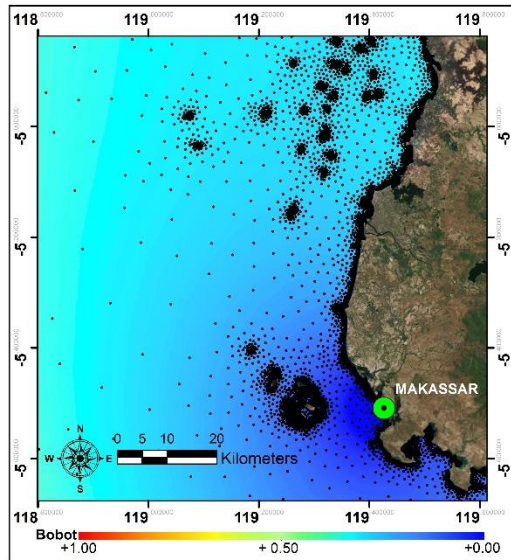
4.2 Hasil *Tidal Constituent and Residual Interpolation*

Hasil kostanta pasut di setiap stasiun pasut kemudian disusun dalam *file* .txt sesuai format yang dapat terbaca dalam *software* Pydro. Selain itu pada *file* tersebut juga disertakan informasi tambahan seperti hasil perhitungan datum vertikal (MHHW, MHW, MLW, MLLW dan MSL) yang telah tereferensi terhadap MSL (*Mean Sea Level*) dan koordinat masing-masing stasiun pasut. Tahap selanjutnya adalah memasukkan *shapefile* (.shp) garis pantai dan pulau sebagai batas pemodelan. Karena batas pemodelan harus berupa poligon (tertutup) dilakukan deliniasi batas *open ocean* untuk wilayah Selat Makassar yang berbatasan dengan laut. Setelah itu, dilakukan proses *gridding* dan pembobotan. Hasil *gridding* dan pembobotan akan dibahas pada sub-bab 4.2.1. Fase dan amplitudo dari 11 kostanta pasut diinterpolasi di atas titik-titik grid yang telah dibobotkan, sehingga menghasilkan Co-tidal untuk setiap kostanta pasut. Hasil Co-Tidal akan dibahas pada sub-bab 4.2.2. Berdasarkan rumus prediksi *water level* dilakukan ekstraksi tinggi muka air laut di salah satu titik pemeruman untuk dibandingkan dengan *water level* pengamatan ketika pemeruman dilakukan. Hasil perbandingan *water level* ini akan dibahas pada sub bab 4.2.3.

4.2.1 Hasil *Gridding* dan Pembobotan

Proses *gridding* menggunakan metode TIN (*triangular irregular network*) menghasilkan 9900 titik dengan luas area Selat Makassar sekitar 255268,763 kilometer persegi. Titik-titik tersebut akan semakin rapat pada wilayah yang dekat dengan garis pantai dan batas pulau. Hal ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Variasi kerapatan titik hasil *gridding* tersebut mengindikasikan bahwa proses komputasi akan semakin sering dilakukan di titik-titik yang dekat dengan garis pantai dan batas pulau. Metode seperti ini baik untuk digunakan, mengingat geometri pantai, teluk dan tanjung juga berpengaruh terhadap

efek lokal seperti angin dan arus yang secara tidak langsung mempengaruhi karakter atau tipe pasut di suatu wilayah.

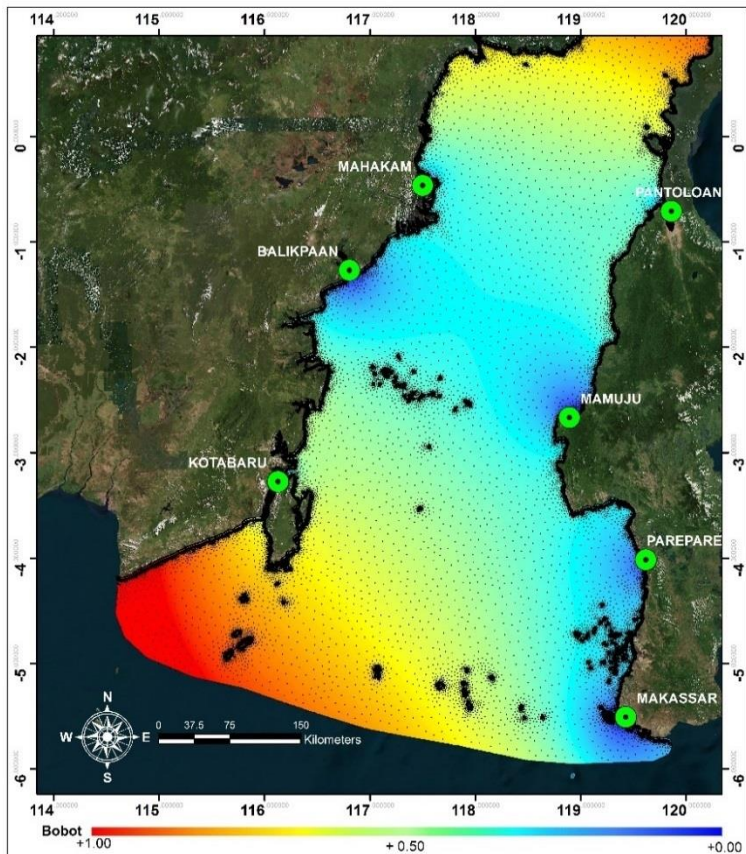


Gambar 4. 8 Hasil Griding Di Sekitar Stasiun Pasut Makassar

Pada wilayah tengah perairan Selat Makassar, kerapatan titik cenderung lebih konsisten meskipun kedalaman dasar perairan bertambah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Metode TCARI tidak mempertimbangkan bentuk morfologi dasar laut dalam proses interpolasi, sehingga hasil interpolasi tidak bergantung terhadap kedalaman (*depth independent*). Pada proses selanjutnya, nilai konstanta dan fase dari setiap stasiun pasut yang telah diketahui, diinterpolasi menggunakan persamaan La Place yang teriterasi pada setiap titik hasil proses *gridding*.

Untuk mempercepat iterasi dan efektifitas ruang penyimpanan (memori), digunakan formula hasil penyederhanaan persamaan La Place. Dalam formula ini dibutuhkan *weighted field* yang diperoleh dari proses pembobotan. Proses pembobotan dilakukan berdasarkan formula *boundary condition* yang telah

dibahas pada Bab II. Hasil pembobotan mempunyai rentang 0 sampai 1. Semakin jauh dari stasiun pasut, maka nilainya akan mendekati 1, artinya data prediksi yang dihasilkan akan lebih akurat ketika radius tempat tersebut ke titik pengamatan pasut semakin kecil. Sehingga secara tidak langsung rentang tersebut dapat menunjukkan tingkat ketidakpercayaan (*uncertainty*) dari model pasut yang telah dibuat seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hasil *Gridding* Pembobotan

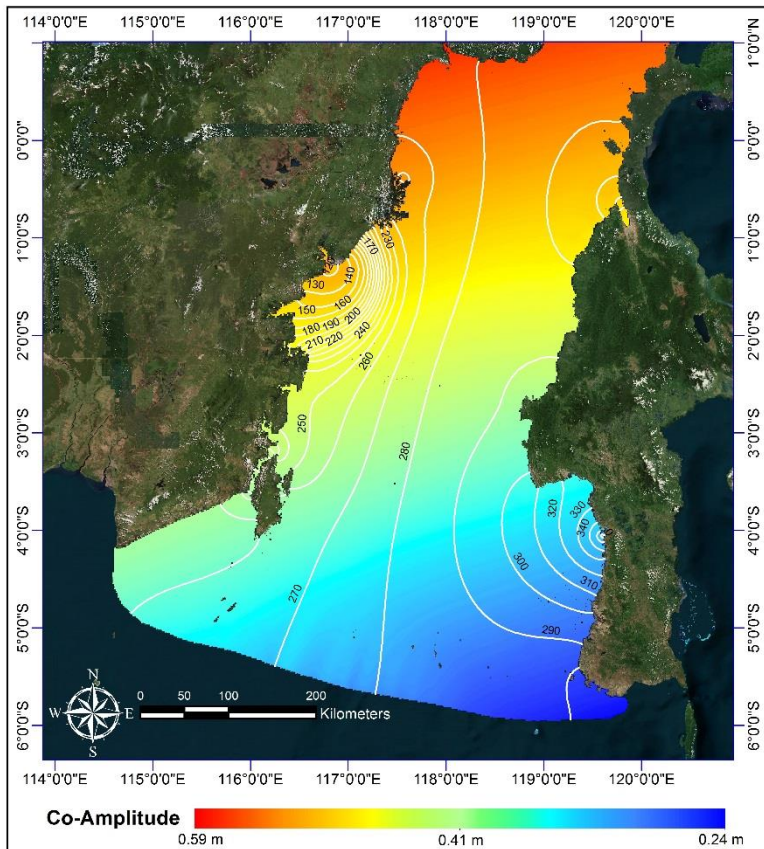
Stasiun Pasut Mahakam dan Pantoloan kurang memberikan kontribusi tingkat kepercayaan terhadap model karena letaknya yang terlalu menjorok ke darat dan berada pada sebuah delta sungai. Stasiun Pasut Kotabaru yang terhalang oleh Pulau Laut, juga kurang memberikan efek yang baik terhadap model yang dihasilkan. Sehingga wilayah bagian selatan Kotabaru mempunyai tingkat *uncertainty* yang tinggi, ditunjukkan oleh warna merah yang lebih dominan.

4.2.2 Co-Tidal

Hasil interpolasi kostanta pasut dapat dianalisa melalui Co-Tidal (Peta Pasang Surut). Peta tersebut menggambarkan variasi amplitudo dan fase di Selat Makassar. Variasi ini dinyatakan dalam perambatan Co-Phase ($^{\circ}$) ditunjukkan oleh garis putih dan Co-Amplitude (meter) ditunjukkan oleh gradasi warna. Berdasarkan prinsip *boundary condition* yang telah dibahas sebelumnya, Co-phase selalu merambat hanya tegak lurus terhadap garis mendekati garis pantai di daerah *near-shore*. Sehingga, apabila dalam satu stasiun diketahui nilai fase X° , maka garis Co-phase yang berpotongan tegak lurus terhadap titik pengamatan pasut tersebut juga mempunyai nilai fase sebesar X° . Berbeda dengan perambatan amplitudo yang merambat tegak lurus dan paralel terhadap garis pantai. Sehingga, hasil interpolasi nilai amplitudo memberikan pola yang lebih variatif. Pada sub-bab 4.2.2.1 sampai 4.2.2.11 akan diberikan pembahasan mengenai hasil Co-Tidal dari setiap kostanta pasut. Nilai alfa (α) yang digunakan pada setiap stasiun sebesar 0,9 dan interval Co-phase 10° .

4.2.2.1 Co-Tidal Kostanta Pasut M2

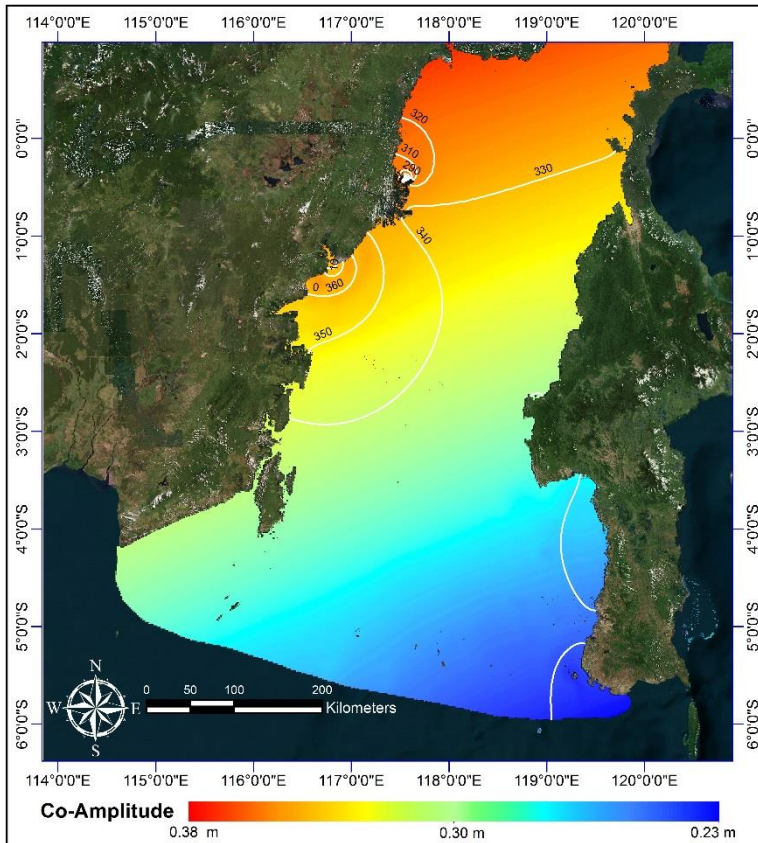
Nilai amplitudo M2 di Selat Makassar minimum 0,24 meter dan maksimum 0,59 meter. Perambatan amplitudo terjadi dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik). Tidak terjadi anomali nilai amplitudo yang cukup signifikan, tetapi nilai fase berubah sedikit drastis di pesisir Balikpapan ditunjukkan oleh Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Co-Tidal M2 Selat Makassar

4.2.2.2 Co-Tidal Kostanta Pasut S2

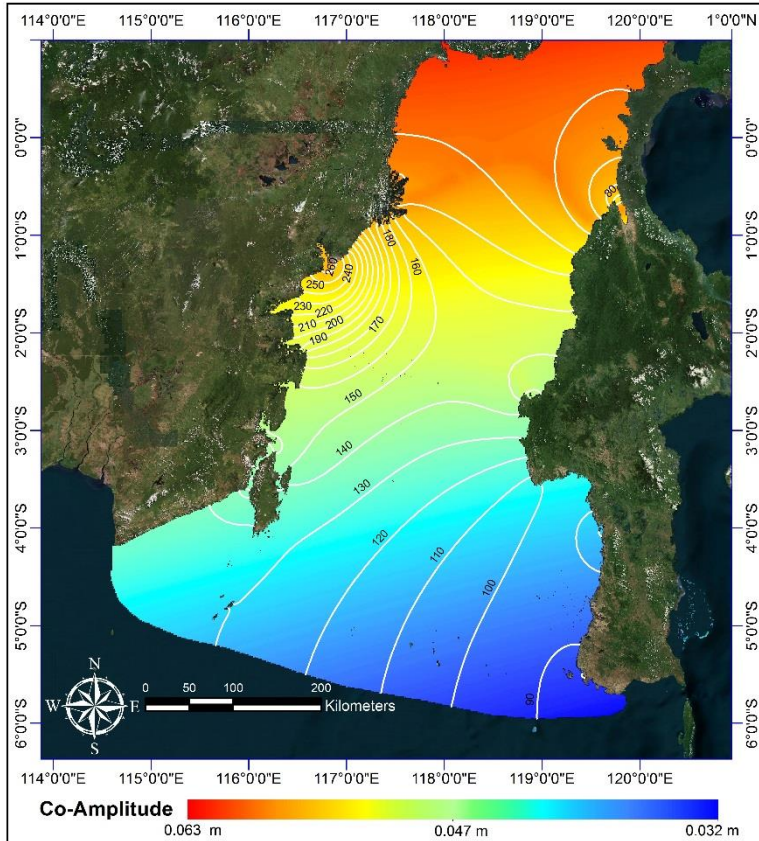
Nilai amplitudo S2 di Selat Makassar minimum 0,23 meter dan maksimum 0,38 meter. Perambatan amplitudo terjadi dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan fase yang cukup signifikan.



Gambar 4. 11 Co-Tidal S2 Selat Makassar

4.2.2.3 Co-Tidal Kostanta Pasut N2

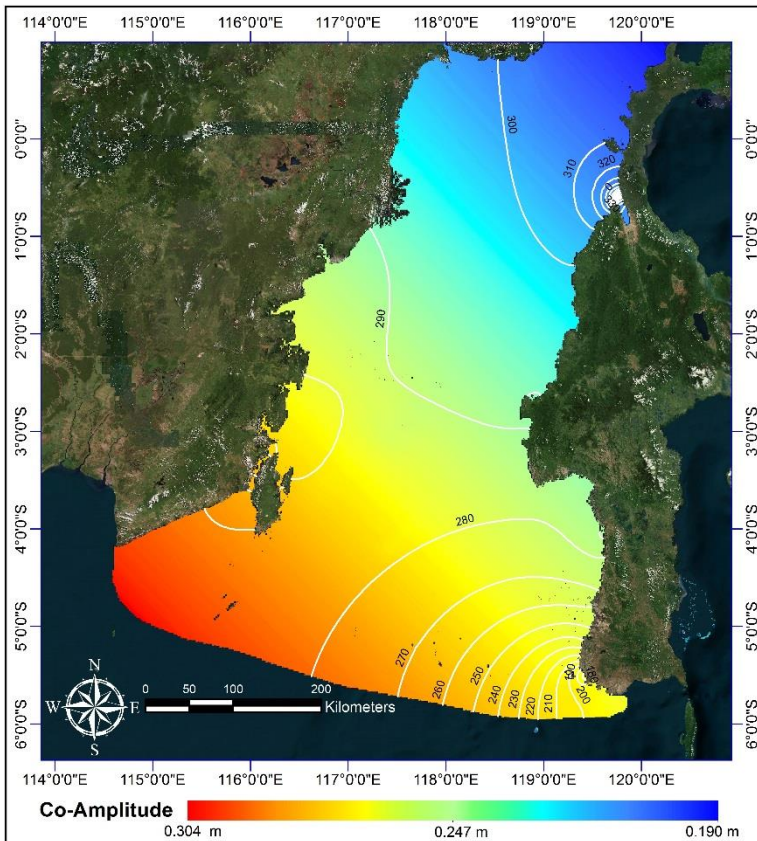
Nilai amplitudo N2 di Selat Makassar minimum 0,32 meter dan maksimum 0,63 meter. Perambatan amplitudo terjadi dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.12. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan fase yang cukup signifikan.



Gambar 4. 12 Co-Tidal N2 Selat Makassar

4.2.2.4 Co-Tidal Kostanta Pasut K1

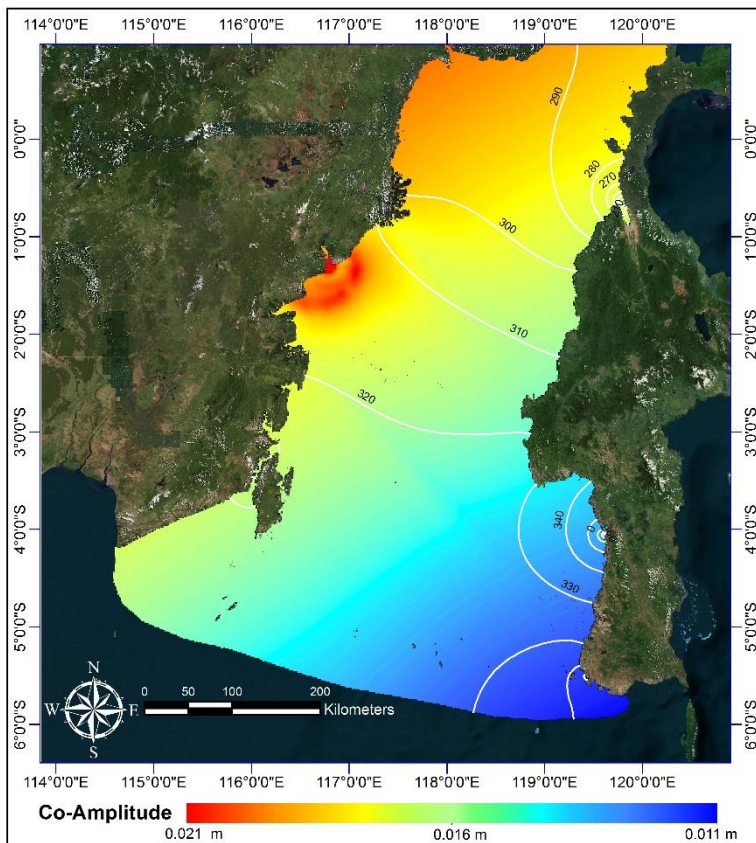
Nilai amplitudo K1 di Selat Makassar minimum 0,190 meter dan maksimum 0,304 meter. Perambatan amplitudo dari utara (Samudra Pasifik) arah menuju selatan (Laut Jawa) ditunjukkan oleh Gambar 4.13. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan yang cukup signifikan. Tetapi nilai fase berubah sedikit drastis di pesisir Pantoloan.



Gambar 4. 13 Co-Tidal K1 Selat Makassar

4.2.2.5 Co-Tidal Kostanta Pasut M4

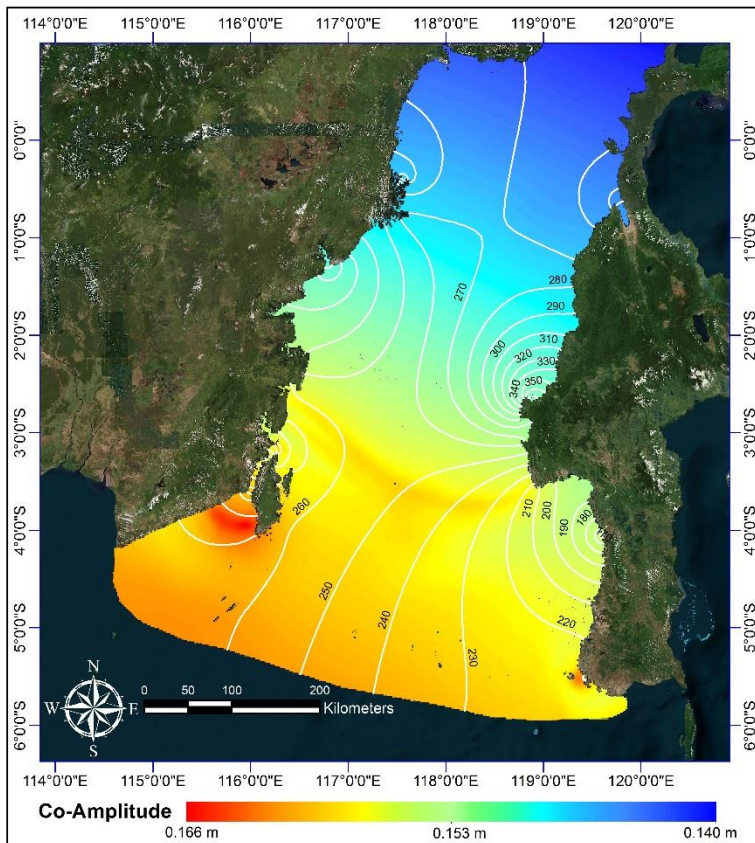
Nilai amplitudo M4 di Selat Makassar minimum 0,011 meter dan maksimum 0,021 meter. Perambatan amplitudo dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.14. Terjadi anomali nilai amplitudo dan yang cukup signifikan di pesisir Balikpapan. Tetapi nilai fase tidak mengalami banyak perubahan.



Gambar 4. 14 Co-Tidal M4 Selat Makassar

4.2.2.6 Co-Tidal Kostanta Pasut O1

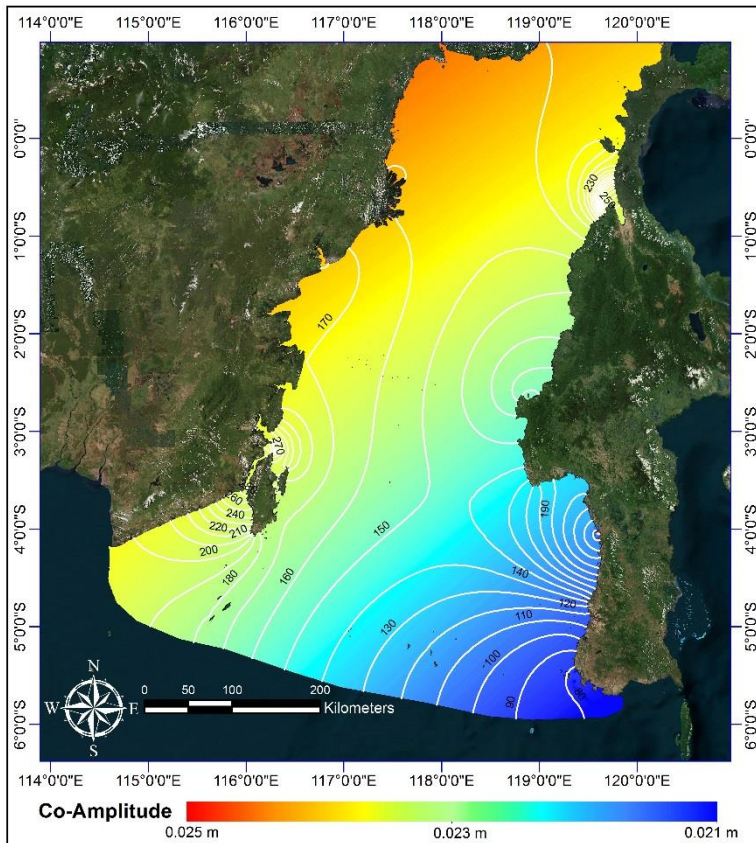
Nilai amplitudo O1 di Selat Makassar minimum 0,140 meter dan maksimum 0,166 meter. Perambatan amplitudo dari utara (Samudra Pasifik) menuju arah selatan (Laut Jawa) ditunjukkan oleh Gambar 4.15. Tetapi perubahan terjadi secara drastis di bagian selatan Selat Makassar. Nilai amplitudo yang cukup tinggi juga terjadi di pesisir selatan Kotabaru.



Gambar 4. 15 Co-Tidal O1 Selat Makassar

4.2.2.7 Co-Tidal Kostanta Pasut MM

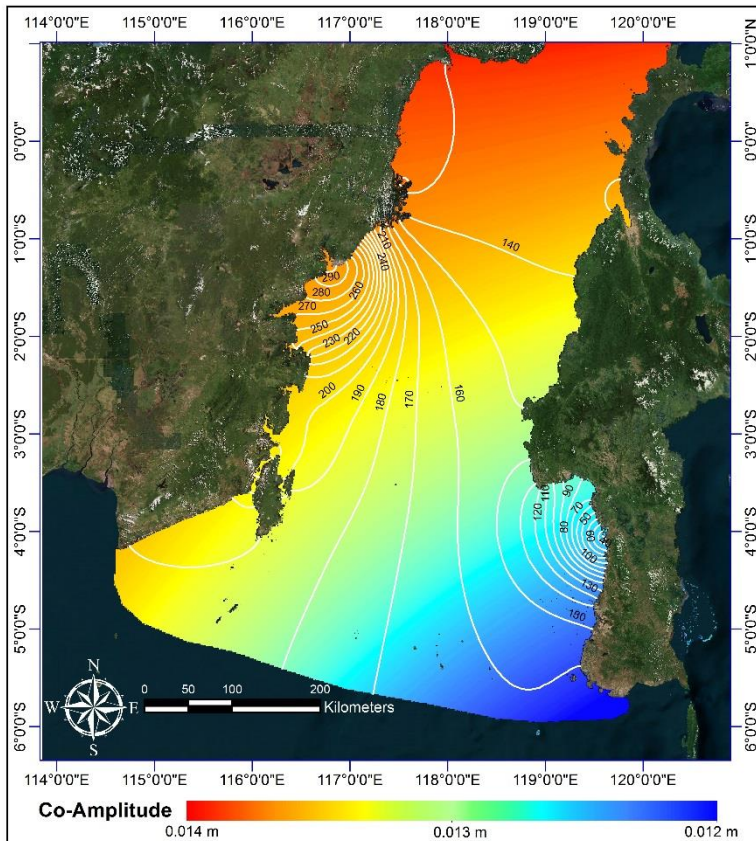
Nilai amplitudo MM di Selat Makassar minimum 0,021 meter dan maksimum 0,025 meter. Perambatan amplitudo dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.16. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan fase yang cukup signifikan.



Gambar 4. 16 Co-Tidal MM Selat Makassar

4.2.2.8 Co-Tidal Kostanta Pasut MF

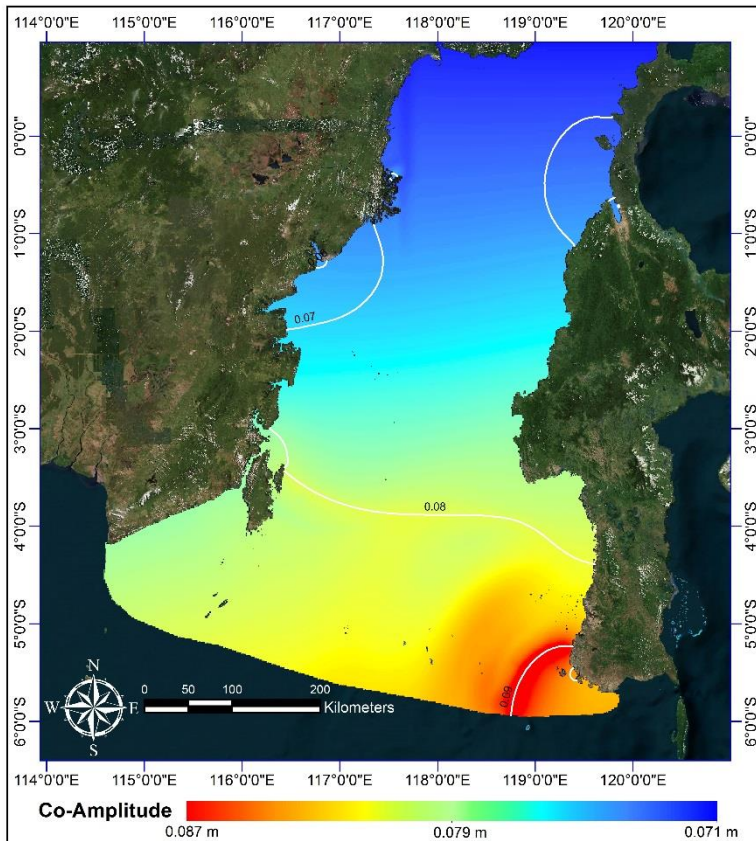
Nilai amplitudo MF di Selat Makassar minimum 0,012 meter dan maksimum 0,014 meter. Perambatan amplitudo dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo. Sedangkan nilai fase berubah sedikit signifikan pada pesisir Balikpapan dan Makassar.



Gambar 4. 17 Co-Tidal MF Selat Makassar

4.2.2.9 Co-Tidal Kostanta Pasut P1

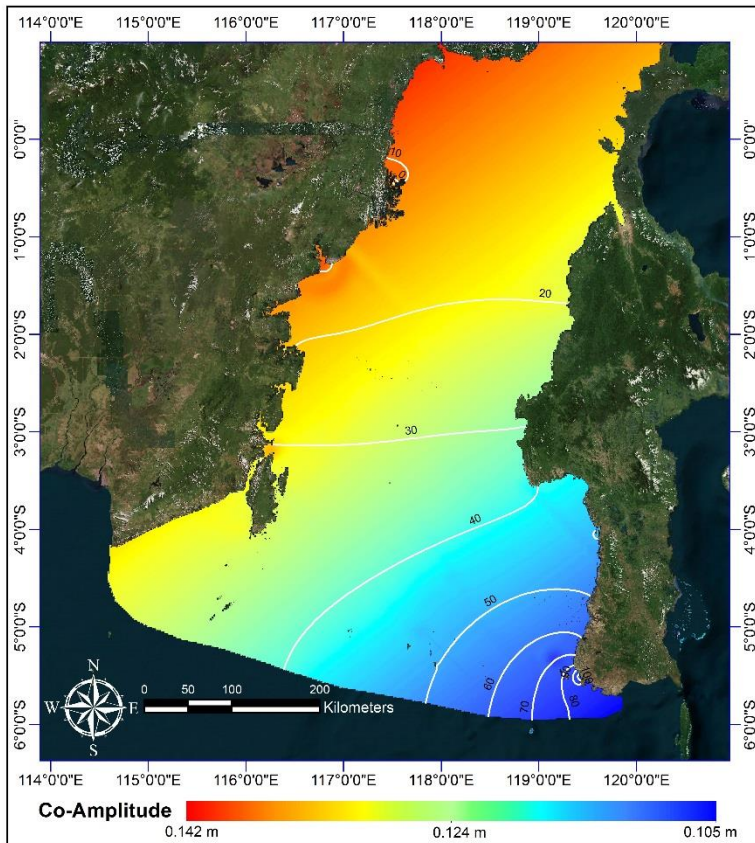
Nilai amplitudo P1 di Selat Makassar minimum 0,071 meter dan maksimum 0,087 meter. Perambatan amplitudo dari utara (Samudra Pasifik) menuju arah selatan (Laut Jawa) ditunjukkan oleh Gambar 4.18. Tidak terjadi anomali nilai fase. Sedangkan nilai amplitudo berubah signifikan pada pesisir Makassar.



Gambar 4. 18 Co-Tidal P1 Selat Makassar

4.2.2.10 Co-Tidal Kostanta Pasut K2

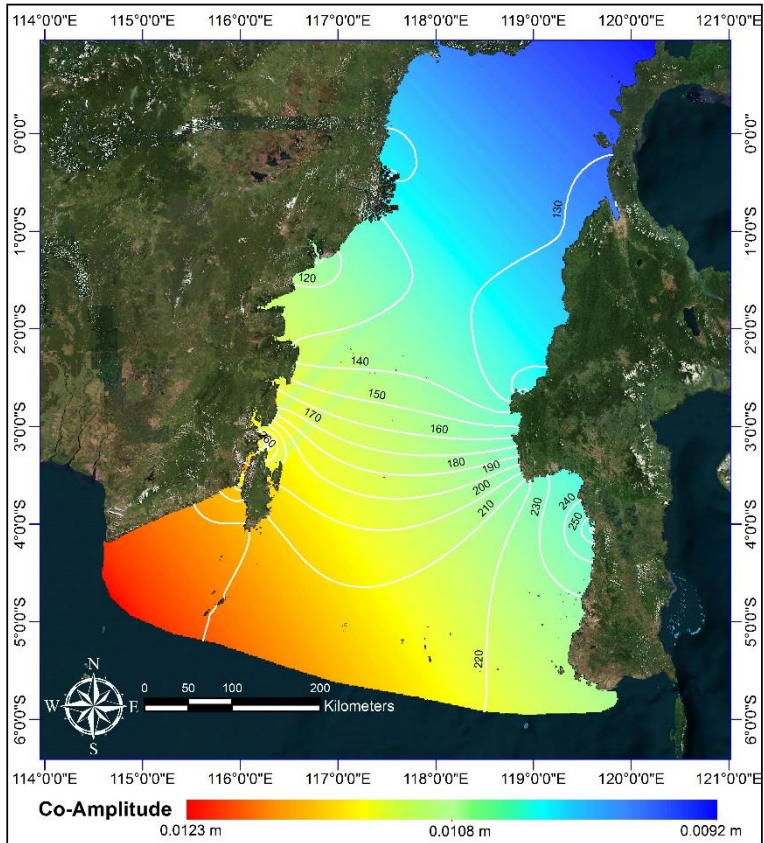
Nilai amplitudo K2 di Selat Makassar minimum 0,105 meter dan maksimum 0,142 meter. Perambatan amplitudo dari arah selatan (Laut Jawa) menuju utara (Samudra Pasifik) ditunjukkan oleh Gambar 4.19. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan fase yang cukup signifikan.



Gambar 4. 19 Co-Tidal K2 Selat Makassar

4.2.2.11 Co-Tidal Kostanta Pasut MS4

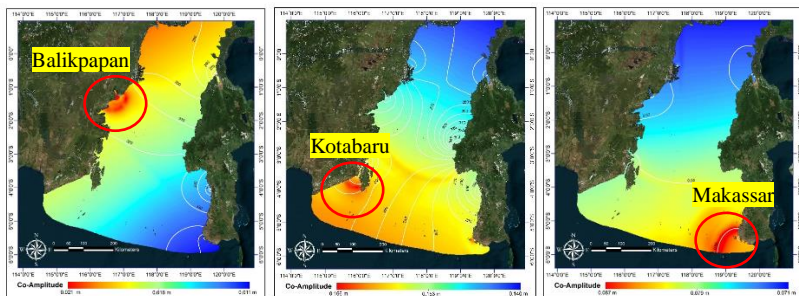
Nilai amplitudo MS4 di Selat Makassar minimum 0,009 meter dan maksimum 0,01 meter. Perambatan amplitudo dari utara (Samudra Pasifik) menuju arah selatan (Laut Jawa) ditunjukkan oleh Gambar 4.20. Tidak terjadi anomali nilai amplitudo dan fase yang cukup signifikan.



Gambar 4. 20 Co-Tidal MS4 Selat Makassar

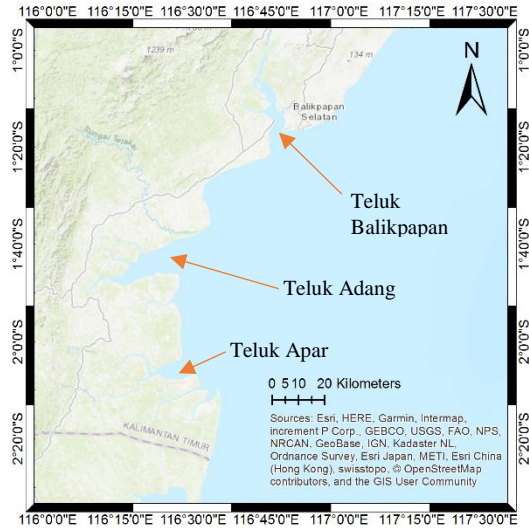
4.2.3 Anomali Nilai Amplitudo

Dari beberapa kostanta pasut yang telah dimodelkan, terdapat beberapa anomali nilai amplitudo pada titik-titik tertentu. Anomali yang dimaksudkan adalah ketika terjadi perambatan amplitudo yang tiba-tiba berubah secara signifikan. Nilai amplitudo yang mengalami anomali amplitudo adalah pada kostanta M4, O1 dan P1. Masing-masing anomali ditunjukkan pada Gambar 4.21.



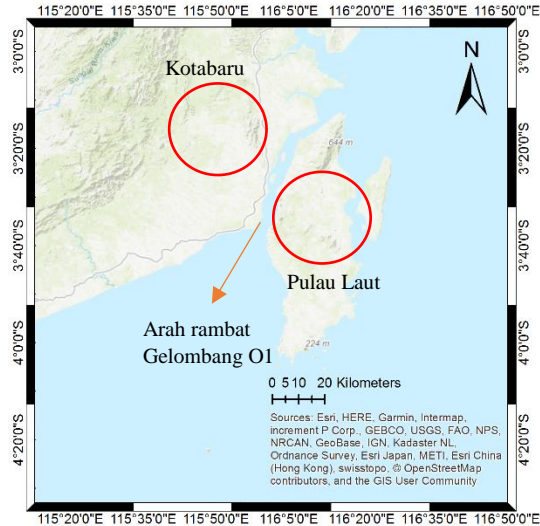
Gambar 4. 21 Anomali Nilai Amplitudo M4, O1 dan P1

Anomali amplitudo M4 terjadi di sekitar pesisir Balikpapan. Ada dua penyebab utama terbentuknya konstanta M4, pertama akibat gesekan dasar serta proses fisis yang bergantung pada nilai kuadrat amplitudonya, kedua akibat proses hidrodinamika, kedua penyebab tersebut merupakan komponen non-linear. Selain kedua hal diatas, penyebab lainnya adalah efek resonansi lokal dan pembentukan gelombang stasioner (Basith dan Prakoso 2015). Sehingga anomali nilai amplitudo di pesisir Balikpapan ini dimungkinkan terjadi karena geometri garis pantai pesisir Balikpapan tidak teratur, dibuktikan oleh adanya beberapa teluk, seperti yang terlihat pada Gambar 4.22, yaitu Teluk Balikpapan, Teluk Apar dan Teluk Adang yang dapat menyebabkan terjadinya resonansi pada osilasi gelombang pasut utama yang kemudian memberikan efek anomali nilai amplitudo M4.



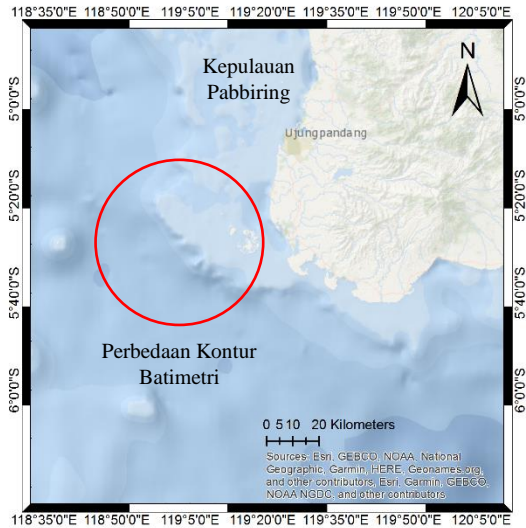
Gambar 4. 22 Geometri Pantai di Sekitar Pesisir Balikpapan

Anomali nilai amplitudo O_1 terjadi pada sekitar pesisir Kotabaru. Kostanta pasut O_1 merupakan kostanta yang dipengaruhi oleh gravitasi bulan (*Principal lunar diurnal*), anomali nilai amplitudo di bagian selatan pesisir Kotabaru terjadi karena adanya Pulau Laut dan Pulau Kalimantan yang membentuk suatu kanal kecil yang bertindak sebagai resonator. Respon perairan yang sebagian tertutup seperti teluk terhadap gaya pembangkit pasut laut yang masuk dipengaruhi oleh *natural modes* dan resonansinya terhadap periode pasut (Ali 1994). Gambar 4.23 menunjukkan letak Pulau Laut yang menghalangi perambatan amplitudo gelombang O_1 .

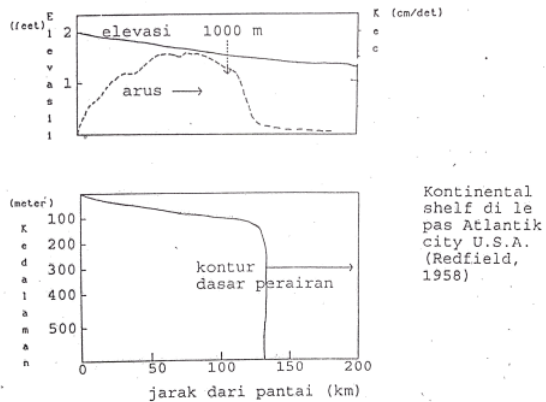


Gambar 4. 23 Pulau Laut di Peisir Kotabaru

Anomali nilai amplitudo P1 di peisir Makassar dimungkinkan terjadi karena perbedaan kedalaman yang terlalu drastis antara paparan Kepulauan Pabbiring dan laut lepas yang mengarah ke Laut Jawa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.24. Ali (1994) menjelaskan bahwa di daerah seperti ini pasut (elevasi dan arus pasut) mengalami perubahan jika dibandingkan dengan perairan dalam. Magnitudonya bertambah, kadang-kadang dengan faktor yang besar jika terjadi resonansi antara periode pasut dan periode natural. Arus pasut di perairan kontinental *shelf* menjadi lebih besar seperti yang terlihat pada Gambar 4.25. Selain itu, jika gerakan pasut yang dibangkitkan di laut lepas menjalar sebagai gelombang ke kontinental *slope* dan *shelf* atau perairan pantai, maka gelombang pasut tersebut akan mengalami perubahan akibat berkurangnya kedalaman.



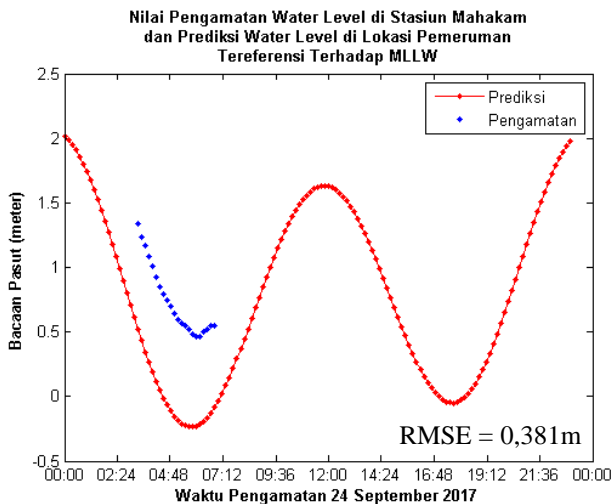
Gambar 4. 24 Geometri Batimetri di Peisir Makassar



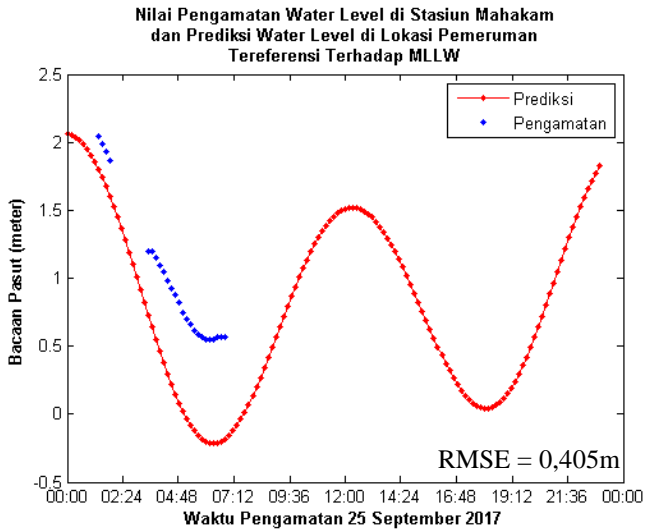
Gambar 4. 25 Perubahan Elevasi dan Kecepatan Pasut dari Perairan Dalam Ke Perairan Dangkal (Muhammad Ali 2004)

4.2.4 Hasil Ekstraksi *Water Level* di Daerah Pemeruman

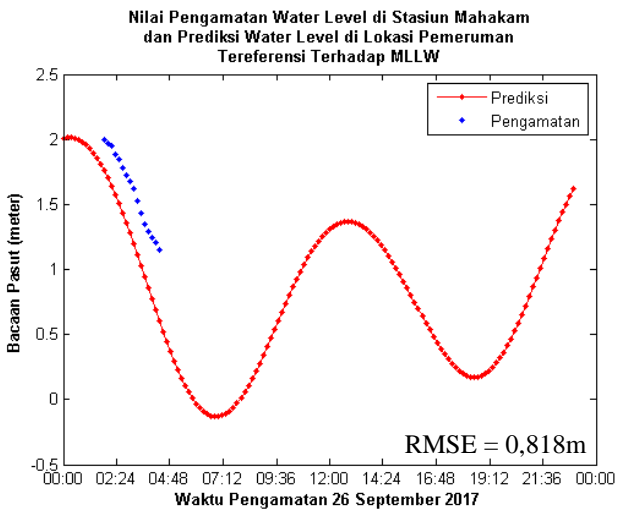
Ekstraksi tinggi muka air laut (*water level*) dilakukan pada lokasi di mana kegiatan pemeruman dilakukan. Stasiun pasut yang digunakan untuk pengamatan tinggi muka air laut ketika pemeruman dilakukan adalah stasiun Delta Mahakam. Sehingga nilai prediksi muka air laut di lokasi pemeruman akan dibandingkan dengan nilai pengamatan muka air laut di stasiun pengamatan Delta Mahakam untuk kemudian digunakan dalam proses koreksi data pemeruman skema A dan skema B. Kegiatan Pemeruman dilakukan pada tanggal 24, 25 dan 26 September 2017. Perbedaan nilai pengamatan *water level* pada tanggal-tanggal tersebut di stasiun pasut Delta Mahakam terhadap nilai prediksi *water level* lokasi pemeruman ditunjukkan oleh Gambar 4.26, Gambar 2.27 dan Gambar 2.28. Prediksi nilai muka air laut diekstrak dengan interval waktu 10 menit dengan harapan dapat digunakan untuk mereduksi data pemeruman secara lebih teliti.



Gambar 4. 26 Grafik Nilai Pengamatan *Water Level* di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 24 September 2017



Gambar 4. 27 Grafik Nilai Pengamatan *Water Level* di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 25 September 2017

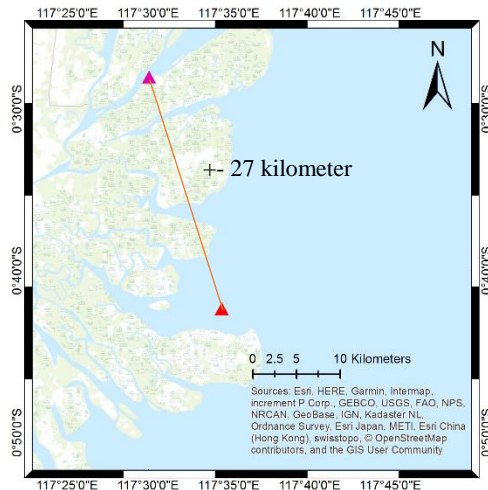


Gambar 4. 28 Grafik Nilai Pengamatan *Water Level* di Stasiun Mahakam dan Lokasi Pemeruman 26 September 2017

Nilai perbedaan tinggi muka air laut maksimum, minimum dan rata dari grafik di atas, ditunjukkan oleh Tabel 4.8. Jarak antara lokasi pengamatan dan lokasi pemeruman kurang lebih sekitar 27 kilometer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.29.

Tabel 4. 8 Selisih *Water Level* Lokasi Pengamatan Pasut dan Pemeruman

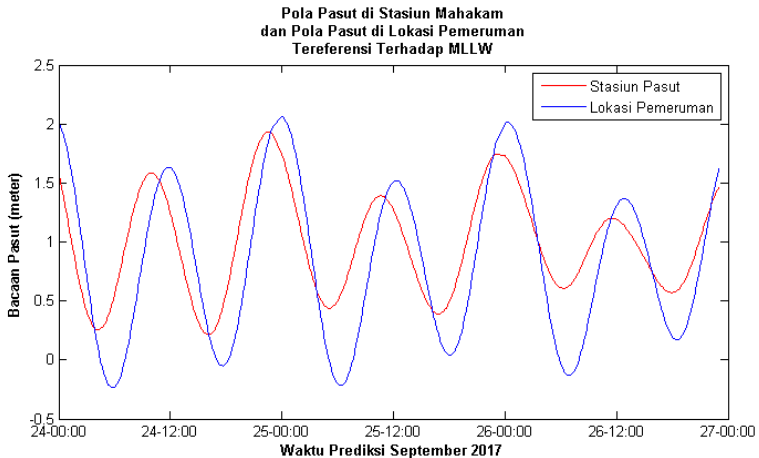
Selisih	24-09-2017	25-09-2017	26-09-2017
Maksimum	0,926 meter	0,592 meter	0,514 meter
Minimum	0,003 meter	0,011 meter	0,246 meter
Rata-rata	0,394 meter	0,313 meter	0,395 meter



Gambar 4. 29 Jarak Lokasi Pemeruman dan Stasiun Pengamatan Pasut

Perbedaan tinggi muka air laut antara lokasi pengamatan pasut dan lokasi pemeruman terjadi karena pola pasut yang berbeda pada kedua tempat tersebut. Hal ini dibuktikan oleh pola pasut di kedua tempat tersebut selama 3 hari yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.30. Meskipun tidak terlalu besar, namun efek yang ditimbulkan dalam proses

koreksi kedalaman untuk pembuatan batimetri mempunyai perbedaan sangat signifikan. Hasil signifikansi ini akan dibahas pada sub bab 4.5.



Gambar 4. 30 Pola Pasut Lokasi Pemeruman dan Stasiun
Pengamatan

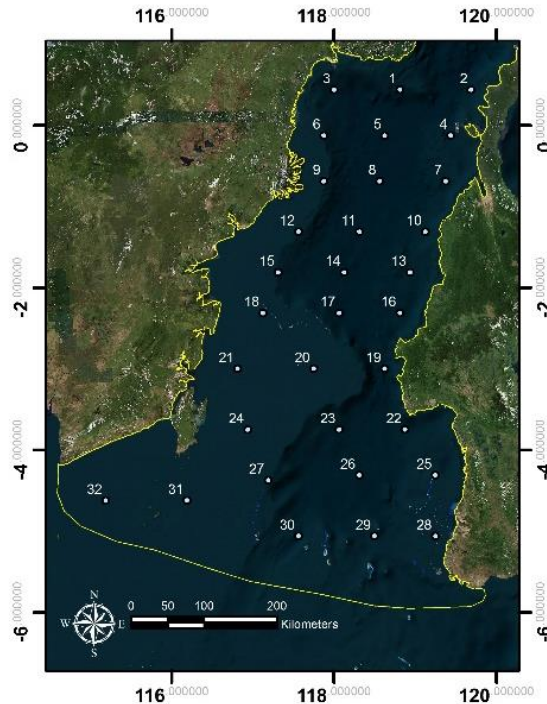
4.3 Perbandingan Distribusi Perbedaan Nilai Kostanta Pasut dan Uji Korelasi Metode TCARI Terhadap Model Pasut Global FES2014

Hasil pemodelan pasut menggunakan metode TCARI dibandingkan dengan model FES2014 untuk menganalisa apakah keduanya mempunyai pola yang sama. Proses ini bertujuan untuk menguji kualitas dari model pasut TCARI. Meskipun pada dasarnya FES2014 adalah produk hasil pengamatan pasut menggunakan satelit altimetri, sedangkan TCARI merupakan hasil interpolasi data in situ, keduanya tetap dapat dibandingkan karena keduanya sama-sama merupakan model pasut. Masing-masing dari kedua metode ini mempunyai kelemahan dan kelebihan yang dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Tabel Perbandingan FES2014 dan TCARI

Parameter	FES2014	TCARI
Interval Pengamatan	Tergantung periode <i>cycle</i> misi satelit altimetri	Sampai 1 Jam
Spasial	Baik di daerah <i>off-shore</i> , kurang baik di daerah <i>near-shore</i> .	Baik di daerah <i>near-shore</i> dan kurang baik di daerah <i>off-shore</i> .
Kontinuitas Pengamatan	Konsisten bertahun-tahun	Tidak konsisten, Bergantung akurasi <i>tide gauge</i>
Skala	Global	Lokal sampai Global

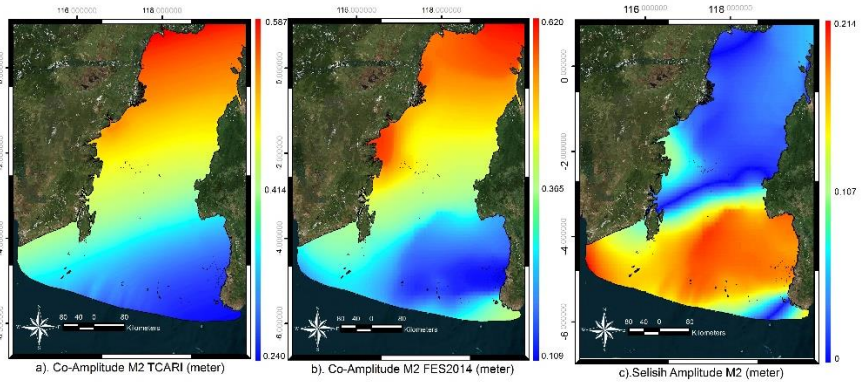
Perbedaan pada Tabel 4.9 menyebabkan variasi nilai konstanta pasut TCARI dan FES2014 mempunyai selisih yang tidak konsisten, bergantung pada posisi dari titik yang dibandingkan. Oleh karena itu, pada sub-bab berikut akan dibahas mengenai pola dari masing-masing konstanta pasut dan distribusi nilai perbedaannya serta korelasi antara kedua model. Nilai korelasi didapatkan dari 32 titik *Independent Control Point* yang telah tersebar merata di daerah penelitian seperti pada Gambar 4.31.



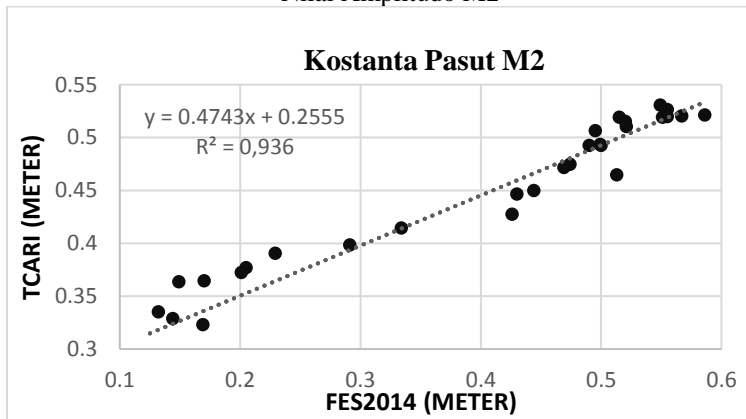
Gambar 4. 31 Koordinat Titik ICP yang Digunakan Sebagai Uji Korelasi

4.3.1 Perbedaan Kostanta Pasut M2

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta M2 yang hampir sama antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.32. Sedikit perbedaan pola M2 terjadi di Selat Makassar bagian selatan dan pesisir Balikpapan. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,214 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat kuat, yaitu sebesar 0,967 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.33.



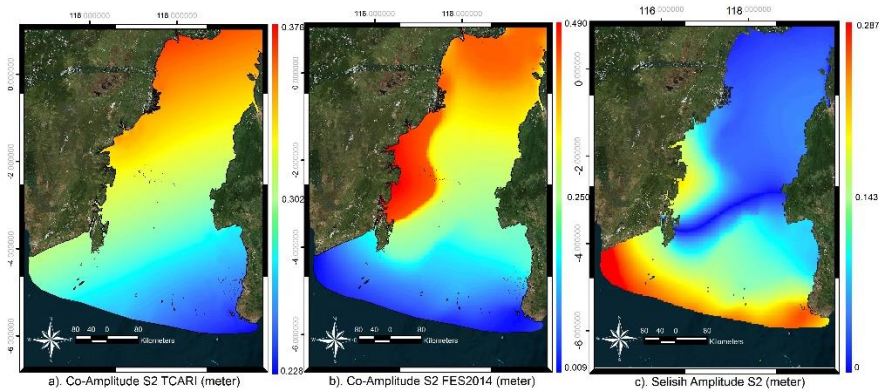
Gambar 4. 32 Co-Amplitude M2 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo M2



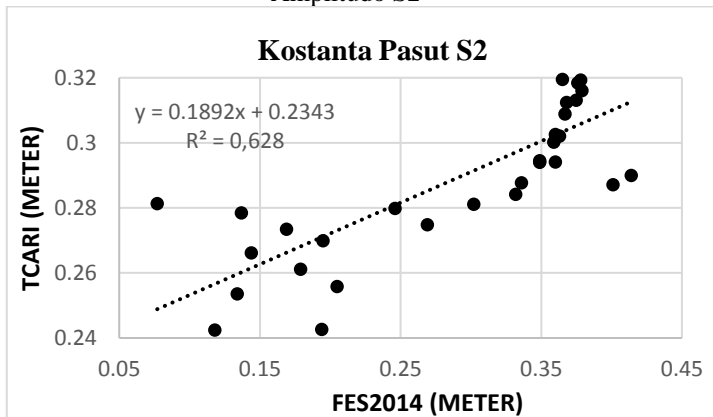
Gambar 4. 33 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI M2

4.3.2 Perbedaan Kostanta Pasut S2

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta S2 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.34. Sedikit perbedaan pola M2 terjadi di Selat Makassar bagian selatan dan pesisir Balikpapan. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,287 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat kuat, yaitu sebesar 0,702 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.35.



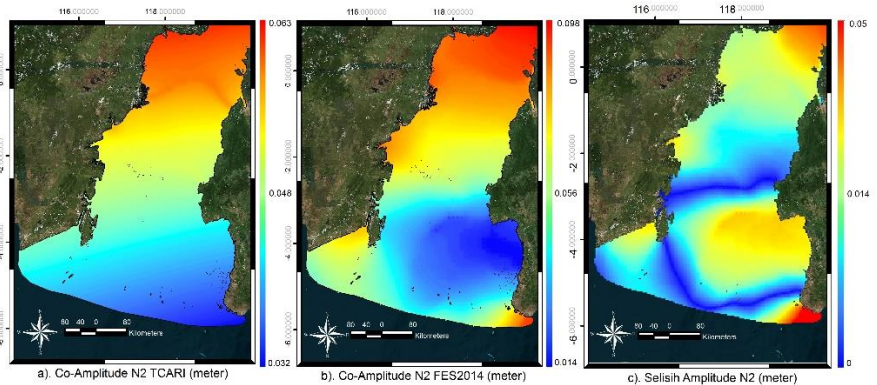
Gambar 4. 34 Co-Amplitude S2 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo S2



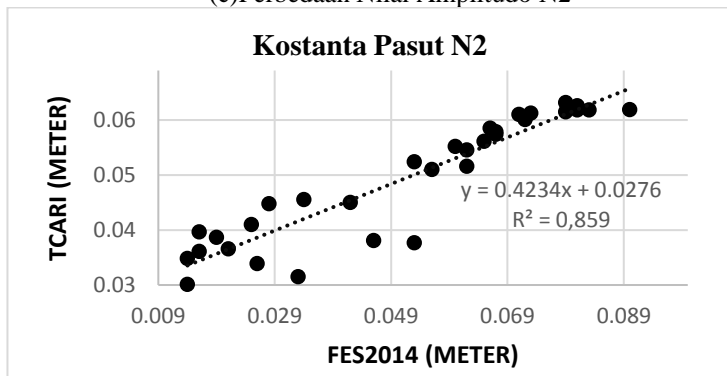
Gambar 4. 35 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI S2

4.3.3 Perbedaan Kostanta Pasut N2

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta N2 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.36. Sedikit perbedaan pola N2 terjadi di Selat Makassar bagian selatan dan pesisir Balikpapan. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,05 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat sangat kuat, yaitu sebesar 0,927 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.37.



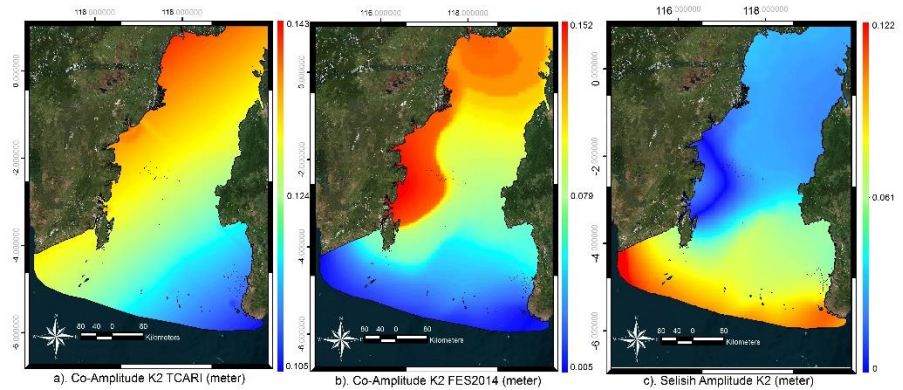
Gambar 4. 36 Co-Amplitude N2 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo N2



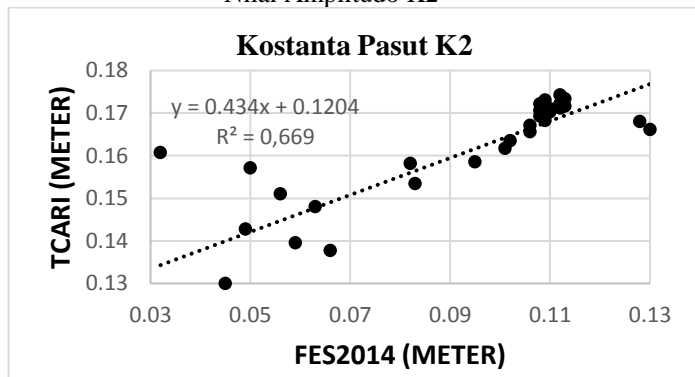
Gambar 4. 37 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI N2

4.3.4 Perbedaan Kostanta Pasut K2

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta K2 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.38. Sedikit perbedaan pola K2 terjadi di Selat Makassar bagian selatan dan pesisir Balikpapan. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,122 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat kuat, yaitu sebesar 0,818 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.39.



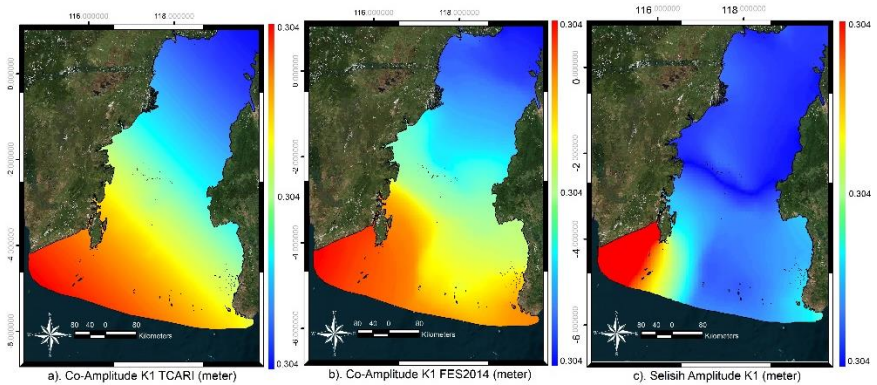
Gambar 4. 38 Co-Amplitude K2 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo K2



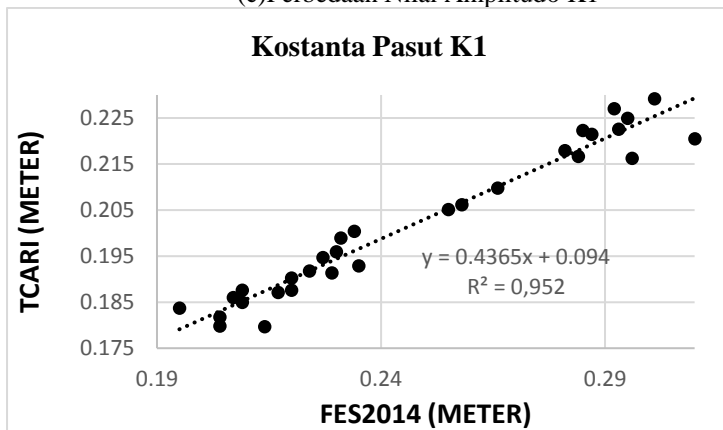
Gambar 4. 39 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI K2

4.3.5 Perbedaan Kostanta Pasut K1

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta K1 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.40. Sedikit perbedaan pola K1 terjadi di Selat Makassar bagian selatan. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,304 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat kuat, yaitu sebesar 0,976 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.41.



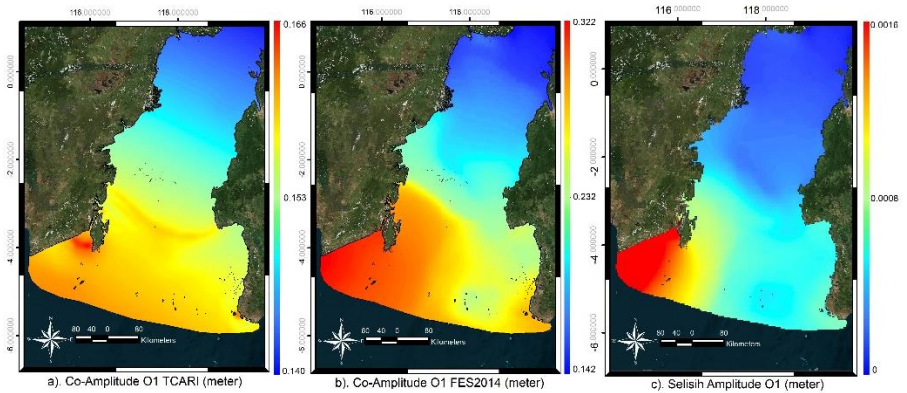
Gambar 4. 40 Co-Amplitude K1 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo K1



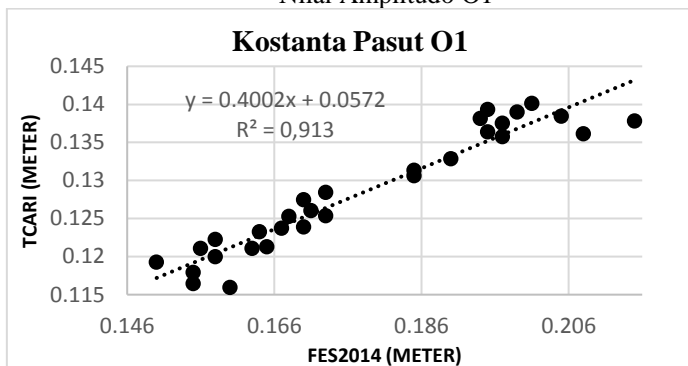
Gambar 4. 41 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI K1

4.3.6 Perbedaan Kostanta Pasut O1

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta O1 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.42. Sedikit perbedaan pola O1 terjadi di pesisir Kotabaru. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,0016 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang sangat kuat, yaitu sebesar 0,956 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.43.



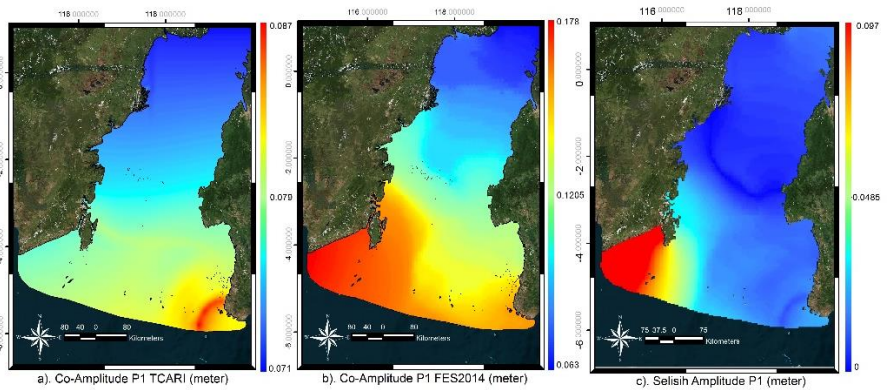
Gambar 4. 42 Co-Amplitude O1 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo O1



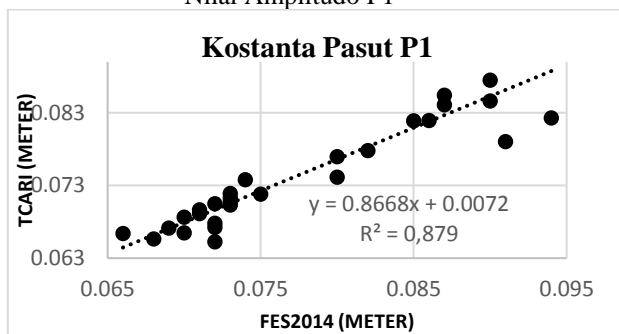
Gambar 4. 43 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI O1

4.3.7 Perbedaan Kostanta Pasut P1

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta P1 yang mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.44. Sedikit perbedaan pola K1 terjadi di Selat Makassar bagian selatan dan pesisir Makassar. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,097 meter. Keduanya juga mempunyai korelasi yang cukup kuat, yaitu sebesar 0,938 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.45.



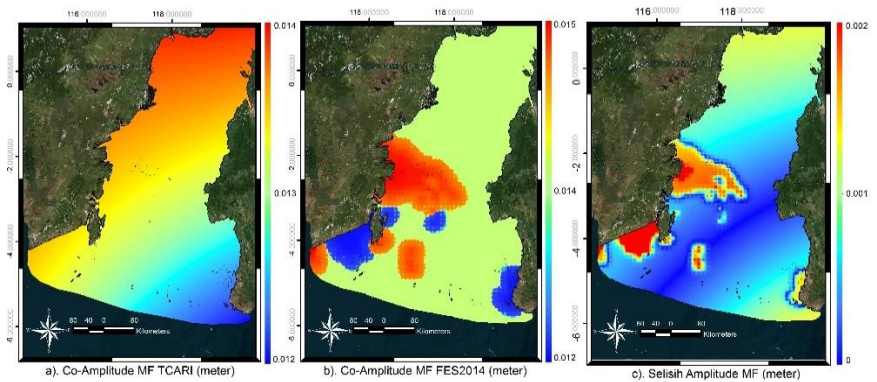
Gambar 4. 44 Co-Amplitude P1 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo P1



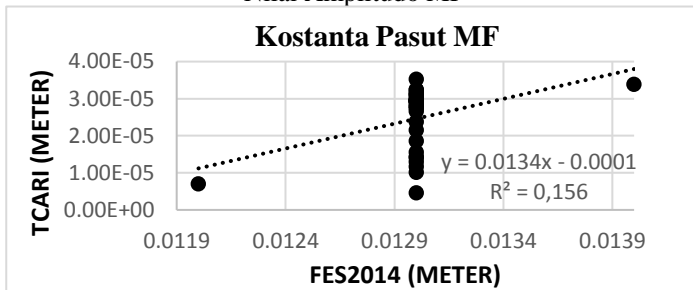
Gambar 4. 45 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI P1

4.3.8 Perbedaan Kostanta Pasut MF

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta MF yang tidak mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.46. Perbedaan yang sangat signifikan pada pola perambatan kostanta MF terjadi di sekitar pesisir Balikpapan, pesisir Kotabaru dan pesisir Makassar. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,002 meter. Model MF dari TCARI dan FES2014 mempunyai korelasi yang sangat sangat lemah, yaitu sebesar 0,395 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.47.



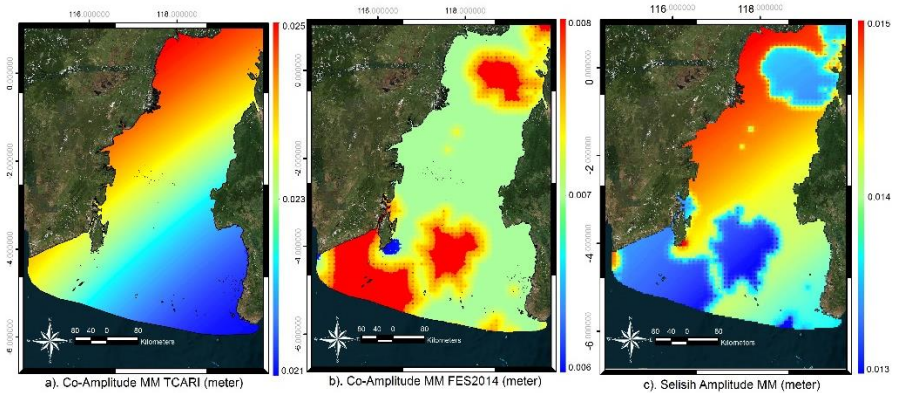
Gambar 4. 46 Co-Amplitude MF (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo MF



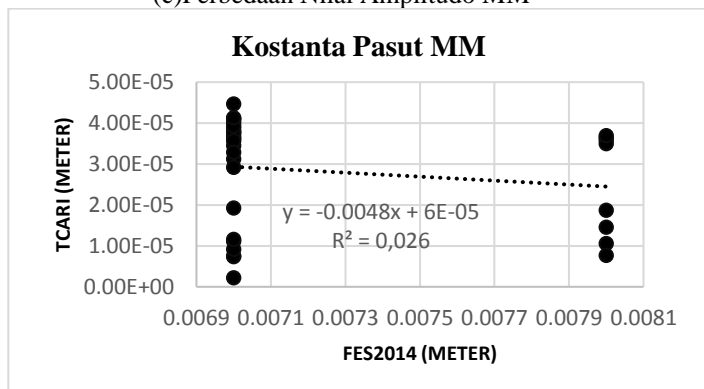
Gambar 4. 47 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MF

4.3.9 Perbedaan Kostanta Pasut MM

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta MM yang tidak mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.48. Banyak perbedaan yang terjadi pada pola kostanta MM. Pola yang ditunjukkan oleh model FES2014 cenderung tidak konsisten dan membentuk spot-spot anomali nilai amplitudo yang kurang wajar. Sedangkan TCARI lebih dapat menampilkan perubahan kostanta yang halus. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,015 meter. Keduanya mempunyai korelasi yang sangat lemah, yaitu sebesar 0,161 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.49.



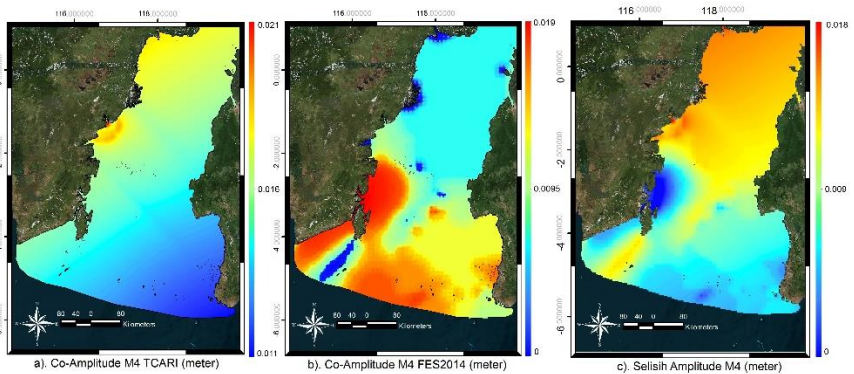
Gambar 4. 48 Co-Amplitude MM (a)TCARI (b)FES2014
(c)Perbedaan Nilai Amplitudo MM



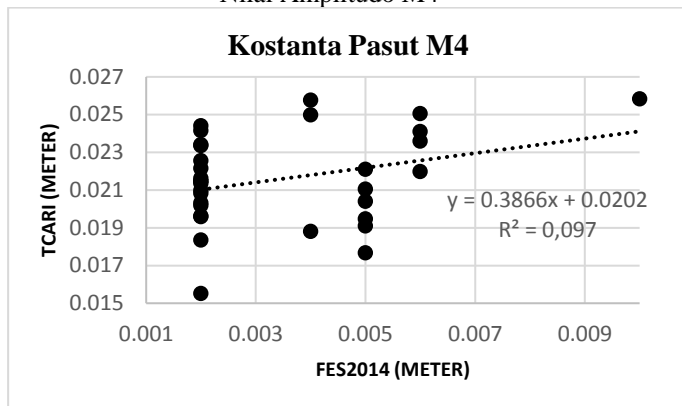
Gambar 4. 49 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MM

4.3.10 Perbedaan Kostanta Pasut M4

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta M4 yang tidak mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.50. Banyak perbedaan yang terjadi pada pola M4. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,018 meter. Keduanya mempunyai korelasi yang sangat sangat buruk, yaitu sebesar 0,311 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.51.



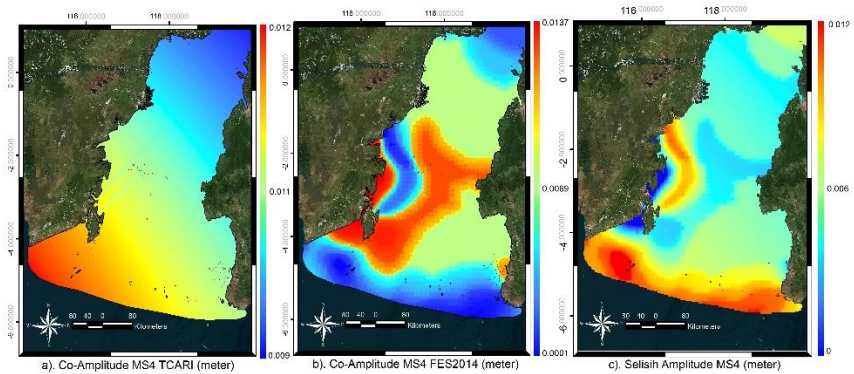
Gambar 4. 50 Co-Amplitude M4 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo M4



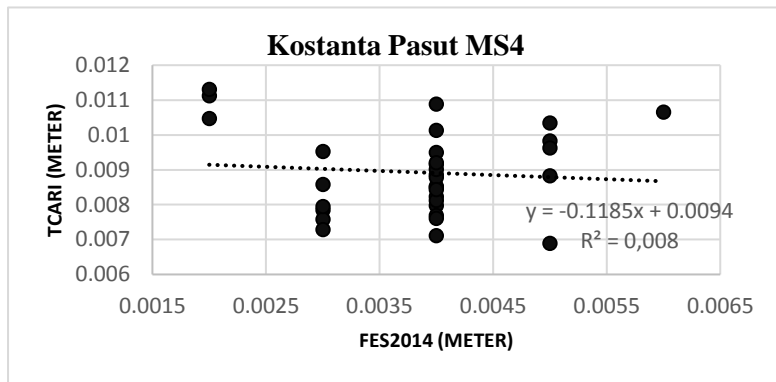
Gambar 4. 51 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI M4

4.3.11 Perbedaan Kostanta Pasut MS4

Pola perambatan nilai amplitudo kostanta MS4 yang tidak mirip antara FES2014 dan TCARI, ditunjukkan oleh Gambar 4.52. Selisih maksimum antara kedua model adalah 0,012 meter. Keduanya mempunyai korelasi yang sangat lemah atau hampir tidak berkorelasi, yaitu sebesar -0,089 seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.53.



Gambar 4. 52 Co-Amplitude MS4 (a)TCARI (b)FES2014 (c)Perbedaan Nilai Amplitudo MS4



Gambar 4. 53 Grafik Korelasi FES2014 dan Hasil TCARI MS4

4.3.12 Pembahasan Hasil Korelasi

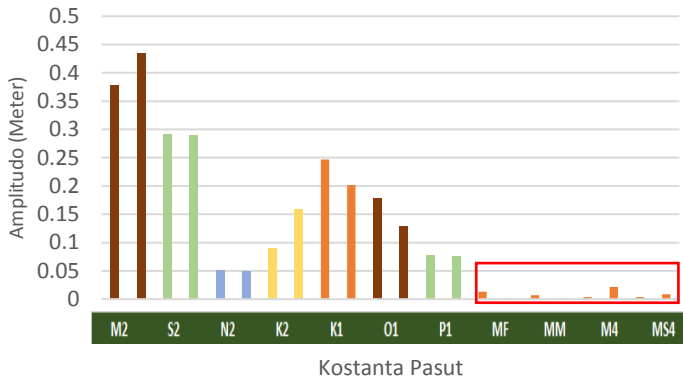
Gambar 4.54 menunjukkan rata-rata antara nilai amplitudo FES2014 dan TCARI dari setiap kostanta pasut yang dimodelkan pada 32 titik ICP. Berdasarkan perhitungan koefisien korelasi yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya menunjukkan kedekatan yang baik pada kostanta-kostanta pasut diurnal dan semidiurnal yaitu lebih dari 0,5, tetapi kurang baik (lemah) pada kostanta pasut periode panjang yaitu

mendekati 0. Hal ini terjadi karena nilai konstanta periode panjang yang sangat kecil seperti yang ditunjukkan oleh diagram pada Gambar 5.54. Sehingga perbedaan yang relatif kecil akan terlihat besar.

Kecilnya nilai konstanta MS4, M4, MF dan MM dipengaruhi oleh kriteria Rayleigh. Kriteria Rayleigh menunjukkan periode ideal minimal (Periode Sinodik) yang dibutuhkan untuk membedakan dua konstanta (tipe gelombang). Berdasarkan formula kriteria Rayleigh pada persamaan 2.1 diperoleh nilai periode pengamatan untuk membedakan spektral MS4 dan M4 adalah 4,310 bulan dan untuk membedakan spektral MF dan MM dibutuhkan waktu pengamatan minimal selama 27,076 hari. Sehingga, karena panjang pengamatan yang digunakan bervariasi di setiap stasiun, yaitu hanya sekitar 3 sampai 7 bulan dinilai kurang ideal untuk mengekstrak konstanta M4 dan MS4 serta ideal untuk mengekstrak konstanta MM dan MF. Jadi, kecilnya nilai MM dan MF dimungkinkan terjadi oleh faktor lain, misalnya pengaruh posisi Selat Makassar yang terletak di daerah ekuator. Mengingat bahwa MM dan MF merupakan konstanta periode panjang yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan, hal ini menyebabkan nilai kedua konstanta ini akan maksimum di daerah kutub dan minimum di daerah ekuator.

Kecilnya nilai konstanta M4, MS4, MM dan MF, membuat konstanta-konstanta ini tidak akan memberikan kontribusi yang besar terhadap penentuan tinggi muka air laut berdasarkan rumus *water level*. Mengingat bahwa tinggi muka air laut didapatkan dari superposisi gelombang sinus dan cosinus yang diperoleh melalui penjumlahan amplitudo gelombang pasang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai konstanta yang telah berhasil dimodelkan menggunakan TCARI telah sesuai untuk digunakan dalam proses prediksi tinggi muka air laut (*water level*).

NILAI AMPLITUDO FES2014 DAN TCARI



Gambar 4. 54 Nilai Amplitudo FES2014 dan TCARI

4.4 Hasil Pengolahan Data Pemeruman

Kegiatan pemeruman dilakukan di sekitar delta Sungai Mahakam dengan spesifikasi survei seperti yang tertera dalam pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Informasi Kegiatan Pemeruman

No.	Kriteria	Keterangan
1	Lokasi	0.706° LS 117.576° BT
2	Alat	Multibeam Echosounder R2Sonic
3	Waktu Survei	24 September 2017 25 September 2017 26 September 2017
4	Luas Wilayah	147212,436002 m ²
5	Jumlah Lajur Pemeruman	48 lajur utama 5 lajur silang

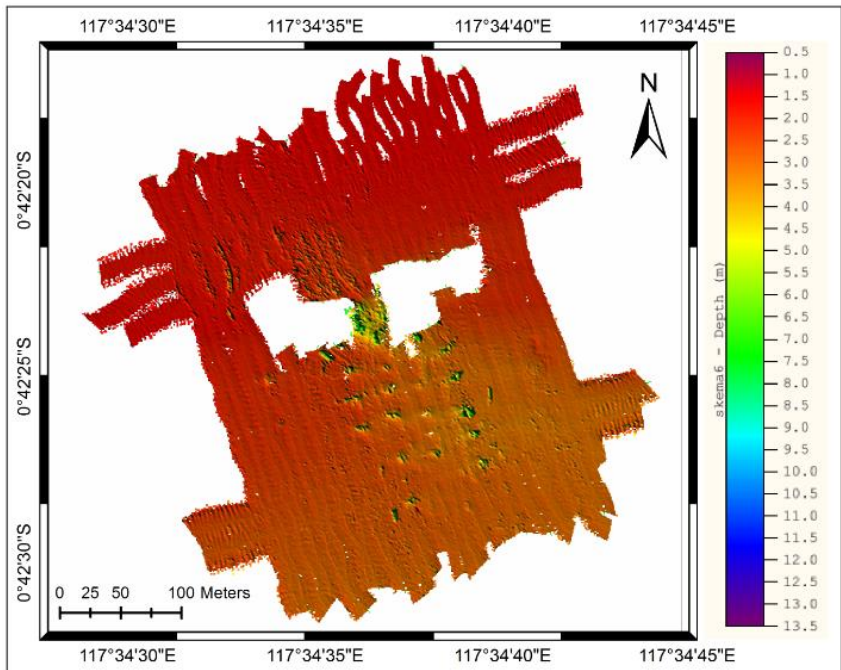
No.	Kriteria	Keterangan
6	Orde (IHO)	Orde Spesial (1a) Toleransi Kesalahan: <i>95% confidence level</i> TVU = a:0,25 cm ; b:0,0075 cm THU = 2 meter
7	Sistem Koordinat Lokal	P2 Exc-T9 <div> <div>Projection type:</div> <div>004</div> </div> <div> <div>Conversion factor to metres:</div> <div>1.000000</div> </div> <div> <div>Projection name:</div> <div>Transverse Mercator (South Hemisphere)</div> </div> <div> <div>Latitude of grid origin:</div> <div>0:00:00.000000 N</div> </div> <div> <div>Longitude of grid origin:</div> <div>117:00:00.000000 E</div> </div> <div> <div>Grid Easting at grid origin:</div> <div>500000.0000</div> </div> <div> <div>Grid Northing at grid origin:</div> <div>10000000.0000</div> </div> <div> <div>Scale factor at longitude of origin:</div> <div>0.999600000000</div> </div>

Pengolahan data pemeruman dilakukan melalui koreksi *spike*, kecepatan suara (SVP), *draft* kapal dan *patch test* (*roll*, *pitch* dan *yaw*). Setelah terkoreksi oleh beberapa parameter tersebut, data pemeruman dikoreksikan terhadap pasut menggunakan 2 skema. Skema 1 data pemeruman dikoreksi menggunakan pasut pengamatan, sedangkan pada skema 2 data pemeruman dikoreksi menggunakan pasut hasil prediksi TCARI. Kedua skema tersebut akan dibahas pada sub bab berikut.

4.4.1 Skema 1

Pada skema 1 hasil rata-rata kedalaman yang telah terkoreksi pasut adalah 2,833 meter, maksimum 12,656 meter dan minimum 0,938 meter. Bentuk dasar laut cenderung datar tetapi ada beberapa *pattern* yang mengindikasikan beberapa lubang bekas tancapan *platform* seperti pada Gambar 4.55. Terdapat anomali *spike* pada daerah nadir sehingga menyebabkan pola garis pada setiap *line* tetapi dapat

diminimalisir dengan pembersihan *spike*, meskipun tidak sepenuhnya hilang.

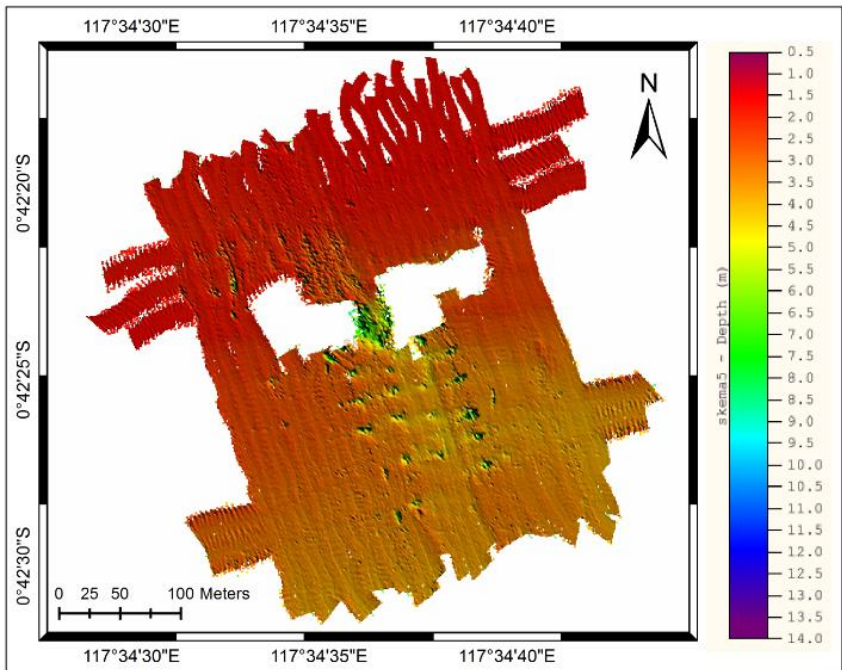


Gambar 4. 55 Hasil Reduksi Data Pemeruman Skema 1

4.4.2 Skema 2

Pada skema 2 hasil rata-rata kedalaman yang telah terkoreksi pasut adalah 3,675 meter, maksimum 13,585 meter dan minimum 0,556 meter. Dari rona warna yang ditampilkan oleh Gambar 4.56 dapat diketahui bahwa bentuk dasar laut cenderung lebih memiliki kemiringan yang curam daripada hasil skema 1. Selain itu, *pattern* beberapa lubang bekas tancapan *platform* juga terlihat lebih jelas. Pola dasar laut seperti lipatan di daerah yang lebih dangkal dimungkinkan terjadi karena *Motion Reference Unit* (MRU) yang digunakan tidak *compatible* dengan arus yang terjadi di daerah pemeruman.

Hal ini terjadi baik pada skema 1 dan 2. Meskipun hasil perbedaan nilai *waterlevel* yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya cukup kecil, dapat dilihat bahwa koreksi pasut memberikan efek yang signifikan terhadap batimetri yang dihasilkan. Tingkat signifikansi antara kedua skema akan dibahas secara lebih lanjut dalam sub bab 4.5

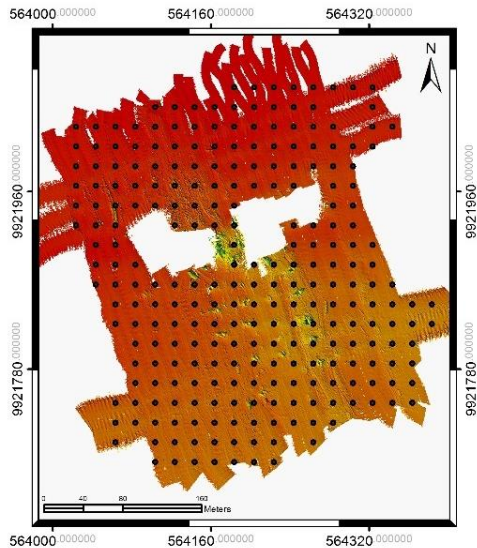


Gambar 4. 56 Hasil Reduksi Data Pemeruman Skema 2

4.5 Hasil Uji Signifikansi Pemeruman Skema 1 dan Skema 2

Batimetri hasil skema 1 dan 2 dapat diketahui tingkat signifikansi dengan melakukan uji Z terhadap kedua model. Uji Z dilakukan dengan cara mengambil beberapa sampel kedalaman pada hasil batimeri skema 1 dan 2 berdasarkan titik ICP. Jumlah

titik ICP adalah sebanyak 259 titik yang telah tersebar merata di seluruh lokasi pemeruman seperti pada Gambar 4.57.



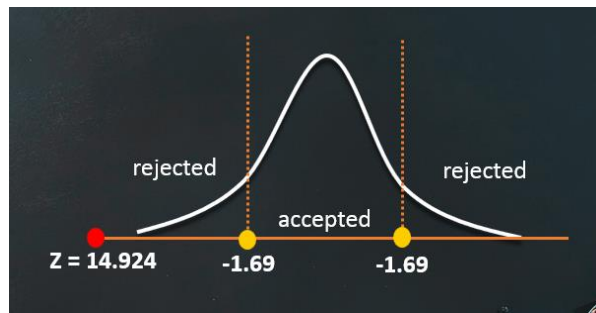
Gambar 4. 57 Sebaran Titik Sampel Uji Signifikansi

Nilai maksimum, minimum, standar deviasi, dan varian data kedalaman pada model batimetri skema 1 dan sekema 2 ditunjukan oleh tabel 11. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan zona kritis yang diperbolehkan agar kedua model dapat dikatakan sama ($\mu_1 = \mu_2$).

Tabel 4. 11 Nilai Kedalaman Titik ICP Pada Kedua Model Batimetri

No.	Nilai	Batimetri Skema 1 (meter)	Batimetri Skema 2 (meter)
1	Standar Deviasi	0,629	0,655
2	Rata-rata	2,833	3,675
3	Maksimum	4,544	6,431
4	Minimum	1,725	2,347
5	Varian	0,395	0,429

Dengan tingkat kepercayaan 95% atau 0.05 *level of significant* menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman skema 1 tidak sama dengan rata-rata kedalaman skema 2. Hal ini dibuktikan oleh nilai Z hasil hitungan sebesar 14,924, sedangkan interval zona kritis yang diperbolehkan adalah $-1,96 \leq Z \leq 1,96$ seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.58. Sehingga hipotesa $\mu_1 = \mu_2$ ditolak (*rejected*) dan yang digunakan adalah hipotesa alternatif yaitu bahwa $\mu_1 \neq \mu_2$.



Gambar 4. 58 Zona Kritis Uji Z

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Pemodelan *Tidal Zoning* menggunakan *Tidal Constituent and Residual Interpolation* (TCARI) dapat dilakukan dengan cara:
 - a) Pembuatan batas pemodelan yang di-*gridding* untuk mendapatkan titik-titik pemodelan
 - b) Pembuatan *field* bobot berdasarkan *boundary condition*
 - c) Komputasi berdasarkan persamaan Laplace
 - d) Perhitungan *water level*
- 2) Berdasarkan uji korelasi Co-tidal hasil TCARI dengan model pasut global FES2014 menunjukkan:
 - a) Kostanta pasut S2, N2, K2, K1, O1, P1 dan M2, menghasilkan koefisien korelasi lebih dari 0,5
 - b) Korelasi paling baik ditunjukkan oleh kostanta K1 dengan korelasi 0,976
 - c) Dikarenakan data pengamatan yang digunakan untuk mengekstraksi kostanta merupakan data pengamatan periode tahun 2017, sehingga hasil *tidal zoning* akan lebih cocok digunakan untuk mengekstraksi tinggi muka air laut pada tahun-tahun yang berdekatan dengan tahun tersebut.
- 3) Nilai *water level* hasil pengamatan dan prediksi TCARI digunakan untuk mereduksi data pemeruman menggunakan 2 skema. Skema ke-1 digunakan data prediksi dari 1 stasiun pasut, sedangkan skema ke-2 dilakukan dengan menggunakan data prediksi hasil TCARI. Dengan *level of signifikan* sebesar 5% (0,05), menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman pada model batimetri skema 1 tidak sama dengan skema 2. Dengan demikian, metode TCARI dinilai efektif dalam mengatasi *tidal zoning error* untuk melakukan prediksi *water level* sebagai reduksi data pemeruman.

5.2 Saran

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk mengembangkan penelitian yang terkait dengan reduksi data pemeruman menggunakan *tidal zoning* dengan pendekatan TCARI diantaranya sebagai berikut:

- a). Persebaran stasiun pasut harus tersebar merata di lokasi pemodelan
- b). Penggunaan data pengamatan dengan interval waktu yang lebih lama untuk menentukan nilai konstanta pasut di setiap stasiun agar nilai konstanta periode panjang dan periode dangkal dapat sesuai dengan yang diharapkan
- c). Penggunaan *software* Pydro dengan versi terbaru
- d). Menggunakan data pemeruman yang terletak di tengah wilayah yang dimodelkan (*offshore*) untuk melakukan uji koreksi pasut
- e). Penggunaan garis pantai yang tepat dengan lokasi pengamatan pasut yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Hadi, S., & Mihardja, D. K. (1994). *Pasang Surut Laut*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Allo, O. A. (2008). Klasifikasi Habitat Dasar Perairan Dengan Menggunakan Instrumen Hidroakustik SIMRAD EY 60 Di Perairan Sumur, Pandeglang – Banten. Bogor: IPB.
- Basith, A., & Prakoso, Y. (2015). Kontribusi Kostanta Pasang Surut Perairan Dangkal.
- Bramadi, S. (2017). Analisis Pengolahan Data Multibeam Echosounder Menggunakan Perangkat Lunak MB-System dan Caris Hips and Sips Berdasarkan Standar S-44 IHO 2008.
- Budiarto, A. (2001). *Aplikasi Split Beam Acoustic System Untuk Pendugaan Nilai Densitas Ikan di Perairan Teluk Jakarta*. Bogor: IPB.
- CARIS. (2013). *Caris HIPS and SIPS User Guide*.
- Carrere, L., Lyard, F., Cancet, M., & Guillot, A. (2015, 07 Senin). *FES2014*. Diambil kembali dari AVISO+: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/auxiliary-products/references.html#fes2014>
- Cisternelli, M., & Gill, S. (2014). Implementation of TCARI into NOS Hydrographic Survey Operations.
- Cisternelli, M., & Martin, C. (2017). A Comparison of Discrete Tidal Zoning and Tidal Constituent and Residual Interpolation (TCARI) Methodologies For Use in Hydrographic Sounding Reduction.
- Dahuri, R. (1996). *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Dewantoro, A., Sabri, L., & Sasmito, B. (2012). *Analisis Ketelitian Hasil Pemeruman Perairan Dangkal Menggunakan Multibeam Echosounder (Studi Kasus: Survei di Muara Karang, Teluk Jakarta)*. Semarang: Universitas Diponegoro.

- Gunathilaka, M., & Mahmud, M. R. (2014). Ceaseless Tidal Zoning for Straits of Malacca using Spatial Interpolation.
- Hasan, M. I. (2013). *Pokok-pokok Statistik 1*. Bumi Aksara.
- Hess, K., Schimq, R., Zerviqa, C., & Collier, W. (2004). *Tidal Constituent and Residual Interpolation (TCARI): A New Method for the Tidal Correction of Bothymetric Data*. US: NOAA.
- Hydrographer of The Navy. (1964). *Harmonic Tidal Analysis for Short Period Observations*, Admiralty of Hydrographic Surveying. Taunton.
- Ingham. (1975). *Sea Surveying*. New York: John Willey and Son Ltd.
- International Hydrographic Bureau. (2008). *IHO Standards For Hydrographic Surveys*. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Kramadibrata, S. (2001). *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung: ITB.
- Mikhail, E. M., & Gracie, G. (1977). *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Noorjayanti, R. W. (2009). *Pengukuran Acoustic Backscattering Strength Dasar Perairan Selat Gaspar Dan Sekitarnya Menggunakan Instrumen Simrad EK60*. Bogor: IPB.
- Nurzaman, H. d., Deden, S., Bambang, P., dkk (2016). *Outlook Energi Indonesia 2015*. Jakarta: Sekretariat Dewan Jenderal Energi Nasional.
- Ongkosono. (1989). *Pasang Surut*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Poerbandono, & Djunarsjah. (2005). *Survei Hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- Pugh, D. T. (1996). *Tide, Surges, and Mean Sea Level*. United Kingdom: British Library Cataloging.
- Putra, A. Y. (2017). *Pembuatan CO-TIDAL Charts Perairan Laut Jawa*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Rai, N. M. (2010). *Studi Prosedur Dealiasing untuk Deteksi Kostanta Pasut Dominan*. Malang: Institut Teknologi Nasional.
- Rawi. (1994). *Pengolahan Data Pasang Surut, Kursus Intensif Oseanografi Bagi Perwira TNI AL*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setyadi. (2015). *Hitung Perataan Kuadrat Terkecil*. Bandung: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shei, L., Hest, K. W., & Myers, E. P. (2013). Spatial Interpolation of Tidal Data Using a Multiple-Order Harmonic Equation for Unstructured Grids. *International Journal of Geosciences*, 2013, 4, 1425-1437, 13.
- T. Brennan, L., Hess, K., Huff, L., & Gill, S. (t.thn.). The Design of an Uncertainty Model For The Tidal Constituent and Residual Interpolation (TCARI) Method for Tidal Correction of Bathymetric Data.
- Thomson, R., & Emery, W. (1998). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon, USA.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2009). *Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset.
- Wolocot, D. (2008). *Standar Operation Procedur of TCARI*. America: NOAA.
- Xavier, L. (2002). *An Introduction to Underwater Acoustic*. United Kingdom: Praxis Publishing.

LAMPIRAN 1

DATA PENGAMATAN PASANG SURUT

CONTOH META DATA STASIUN PASUT MAKASSAR

Koordinat Stasiun Pasut Makassar

Lintang : -5.111730556

Bujur : 119.4178861

Lokasi : Terletak di dermaga pangkalan utama TNI AL Makasar

Header data

Data	Time (UTC)	Tides (cm)
------	------------	------------

01/02/2017	00:00:00	31
------------	----------	----

.....

Nilai data tides berdasarkan bacaan palem dan belum diikatkan ke BM Pasut.

Datum

MSL : belum didefinisikan

LAT : belum didefinisikan

HAT : belum didefinisikan

Deskripsi stasiun pasang surut dapat dilihat pada :

<http://srgi.big.go.id/srgi2/jkg>

CONTOH DATA PENGAMATAN PASUT MAKASSAR

01/01/2017 00:00:00	81
01/01/2017 01:00:00	78
01/01/2017 02:00:00	71
01/01/2017 03:00:00	70
01/01/2017 04:00:00	78
01/01/2017 05:00:00	84
01/01/2017 06:00:00	101
01/01/2017 07:00:00	121
01/01/2017 08:00:00	142

LAMPIRAN 2

SCRIPT ANALISA LEAST SQUARE

```
clc
clear

%Membaca Data Pengamatan Pasang Surut
%-----
[HARI JAM MENIT DETIK
ELEVASI]=textread('Makassar_bagus.txt','%f %f %f
%f %f','headerlines',1);
%Data pengamatan pasut disusun dalam file .txt
dengan format header
%sedemikian rupa. Fungsi ini bertujuan untuk
memanggil data pasut.

%Mengambil & Menyusun Matriks Data Pengamatan
Setiap 1 Jam
%-----
-----
n=length(JAM); %Jumlah data (baris) pengamatan
t=0:n-1; %Panjang waktu pengamatan
Y=ELEVASI; %Nilai tinggi muka air laut yang
tercatat

%Menyusun Matriks Kecepatan Sudut Konstituen
%-----
w=[2*pi/12.42 % Kecepatan Sudut Kostanta M2
2*pi/12.00 % Kecepatan Sudut Kostanta S2
2*pi/12.66 % Kecepatan Sudut Kostanta N2
2*pi/11.98 % Kecepatan Sudut Kostanta K2
2*pi/23.93 % Kecepatan Sudut Kostanta K1
2*pi/25.82 % Kecepatan Sudut Kostanta O1
2*pi/24.07 % Kecepatan Sudut Kostanta P1
2*pi/327.82 % Kecepatan Sudut Kostanta MF
2*pi/661.30 % Kecepatan Sudut Kostanta MM
2*pi/6.21 % Kecepatan Sudut Kostanta M4
2*pi/6.20]'; % Kecepatan Sudut Kostanta MS4
```

```

m=length(w); %Panjang matriks kecepatan sudut

%Menyusun Matriks Desain
%-----
X = ones(n,1); %Matriks elemen 1 sejumlah data
pengamatan
for i=1:m
    X=[X cos(w(i).*t)' sin(w(i).*t)']; %Matriks
desain dari persamaan water level
end

%Perhitungan Kuadrat Terkecil
%-----
Z=inv(X'*X)*(X'*Y); %Perhitungan least square
untuk memperoleh nilai parameter

%Menghitung Amplitudo Konstituen dari matrikss
parameter (Z)
%-----
-----
fH_A_1=sqrt(Z(2)^2+Z(3)^2); %Amplitudo Kostanta M2
fH_A_2=sqrt(Z(4)^2+Z(5)^2); %Amplitudo Kostanta S2
fH_A_3=sqrt(Z(6)^2+Z(7)^2); %Amplitudo Kostanta N2
fH_A_4=sqrt(Z(8)^2+Z(9)^2); %Amplitudo Kostanta K2
fH_A_5=sqrt(Z(10)^2+Z(11)^2); %Amplitudo Kostanta
K1
fH_A_6=sqrt(Z(12)^2+Z(13)^2); %Amplitudo Kostanta
O1
fH_A_7=sqrt(Z(14)^2+Z(15)^2); %Amplitudo Kostanta
P1
fH_A_8=sqrt(Z(16)^2+Z(17)^2); %Amplitudo Kostanta
MF
fH_A_9=sqrt(Z(18)^2+Z(19)^2); %Amplitudo Kostanta
MM
fH_A_10=sqrt(Z(20)^2+Z(21)^2); %Amplitudo Kostanta
M4
fH_A_11=sqrt(Z(22)^2+Z(23)^2); %Amplitudo Kostanta
MS4

```

```

%Menghitung Fase Relatif Konstituen dari matrikss
parameter (Z)
%-----
Phase_1=(atan2(Z(3),Z(2)))*180/pi; %Fase Kostanta
M2
Phase_2=(atan2(Z(5),Z(4)))*180/pi; %Fase Kostanta
S2
Phase_3=(atan2(Z(7),Z(6)))*180/pi; %Fase Kostanta
N2
Phase_4=(atan2(Z(9),Z(8)))*180/pi; %Fase Kostanta
K2
Phase_5=(atan2(Z(11),Z(10)))*180/pi; %Fase
Kostanta K1
Phase_6=(atan2(Z(13),Z(12)))*180/pi; %Fase
Kostanta O1
Phase_7=(atan2(Z(15),Z(14)))*180/pi; %Fase
Kostanta P1
Phase_8=(atan2(Z(17),Z(16)))*180/pi; %Fase
Kostanta MF
Phase_9=(atan2(Z(19),Z(18)))*180/pi; %Fase
Kostanta MM
Phase_10=(atan2(Z(21),Z(20)))*180/pi; %Fase
Kostanta M4
Phase_11=(atan2(Z(23),Z(22)))*180/pi; %Fase
Kostanta MS4

%Rata-rata tinggi muka air laut selama periode
pengamatan
%-----
Zo=Z(1);

%Mengitung Prediksi Berdasarkan Formula Waterlevel
%-----
for j=1:n
uuu(j) =
Zo+Z(2)*cos(w(1)*t(j))+Z(3)*sin(w(1)*t(j))+Z(4)*co
s(w(2)*t(j))+Z(5)*sin(w(2)*t(j))+Z(6)*cos(w(3)*t(j)

```

```

)) + Z(7) * sin(w(3) * t(j)) + Z(8) * cos(w(4) * t(j)) + Z(9) * sin(w(4) * t(j)) + Z(10) * cos(w(5) * t(j)) + Z(10) * sin(w(5) * t(j)) + Z(12) * cos(w(6) * t(j)) + Z(11) * sin(w(6) * t(j)) + Z(14) * cos(w(7) * t(j)) + Z(13) * sin(w(7) * t(j)) + Z(16) * cos(w(8) * t(j)) + Z(15) * sin(w(8) * t(j)) + Z(18) * cos(w(9) * t(j)) + Z(17) * sin(w(9) * t(j)) + Z(20) * cos(w(10) * t(j)) + Z(19) * sin(w(10) * t(j)) + Z(22) * cos(w(11) * t(j)) + Z(21) * sin(w(11) * t(j));

```

```

Yhit(j) = Zo + fH_A_1 * cos(w(1) * t(j) - (Phase_1 * pi / 180)) + fH_A_2 * cos(w(2) * t(j) - (Phase_2 * pi / 180)) + fH_A_3 * cos(w(3) * t(j) - (Phase_3 * pi / 180)) + fH_A_4 * cos(w(4) * t(j) - (Phase_4 * pi / 180)) + fH_A_5 * cos(w(5) * t(j) - (Phase_5 * pi / 180)) + fH_A_6 * cos(w(6) * t(j) - (Phase_6 * pi / 180)) + fH_A_7 * cos(w(7) * t(j) - (Phase_7 * pi / 180)) + fH_A_8 * cos(w(8) * t(j) - (Phase_8 * pi / 180)) + fH_A_9 * cos(w(9) * t(j) - (Phase_9 * pi / 180)) + fH_A_10 * cos(w(10) * t(j) - (Phase_10 * pi / 180)) + fH_A_11 * cos(w(11) * t(j) - (Phase_11 * pi / 180));

```

```

end

```

```

Yhit2 = Yhit'; %tinggi muka air laut hasil prediksi

```

```

%Menghitung nilai residu

```

```

%-----

```

```

Residu = abs(Yhit2 - Y); %nilai residu
rata2 = mean(Residu); %Rata-rata nilai residu
minimum = min(Residu); %Nilai minimum residu
maximum = max(Residu); %Nilai maksimum residu

```

```

%Pembuatan grafik nilai pengamatan, prediksi dan residu

```

```

%-----
-----

```

```

figure

```

```

subplot(2,1,1) % plot nilai asli dan prediksi

```

```

plot(Y, 'r')

```

```

hold on
plot(Yhit,'b-');
title('Grafik Pasang Surut Stasiun Makassar')
h=legend('Pengamatan','Prediksi');
xlabel('Data ke-'), ylabel('Bacaan Pasut (cm)')

```

```

subplot(2,1,2) % plot nilai residu
plot(Residu,'g-');
h=legend('Residu');
title(['Grafik Nilai Residu |', ' Rata-
rata=',num2str(rata2),' |', '
Maksimum=',num2str(maximum),' |', '
Minimum=',num2str(minimum),' | (cm)'])
xlabel('Data ke-'), ylabel('Nilai Residu (cm)')

```

```

%Menghitung Datum Vertikal Terhadap Angka Rambu
%-----

```

```

MHHW=Zo+(fH_A_1+fH_A_5+fH_A_6);
MHW=Zo+fH_A_1+fH_A_2+fH_A_5+fH_A_6;
MLW=Zo-(fH_A_1+fH_A_2+fH_A_5+fH_A_6);
MLLW=Zo-(fH_A_1+fH_A_5+fH_A_6);
MSL=Zo;

```

```

%Menyatakan Datum vertikal Terhadap MSL
%-----

```

```

s_MHHW=(MHHW-MSL)/100
s_MHW=(MHW-MSL)/100
s_MLW=(MLW-MSL)/100
s_MLLW=(MLLW-MSL)/100
s_MSL=0

```


LAMPIRAN 3


MODEL PASUT GLOBAL 2014

CONTOH DATA MODEL PASUT GLOBAL FES2014 KOSTANTA P1

0	118,56	118,63	118,69	118,8	118,81	118,88	118,94	119	119,06	119,13	119,19	119,3	119,313
2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,938	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,875	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,813	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2
1,75	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,688	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,625	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3
1,563	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1,5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2	6,3
1,438	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
1,375	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
1,313	NaN	NaN	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
1,25	NaN	NaN	NaN	6,3	6,3	6,3	6,4	6,3	6,3	6,4	6,4	6,3	6,3
1,188	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
1,125	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
1,063	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
0,938	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5
0,875	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5

Keterangan satuan :

 = derajat (°)

 = centimeter

LAMPIRAN 4

SCRIPT EKSTRAKSI KOSTANTA FES2014

```
clc
clear

format long g
longitude=xlsread('FES2014.xlsx',11,'B1:DJ1');
%membaca kolom longitude
latitude=xlsread('FES2014.xlsx',11,'A2:A130');
%membaca kolom latitude
amplitude=xlsread('FES2014.xlsx',11,'B2:DJ130');
%membaca nilai amplitudo kostanta yang dipanggil

lon=longitude';
i=length(lon); %panjang data longitude(kolom)
j=length(latitude) %panjang data latitude baris

for i=1:i %perulangan nilai longitude sebanyak
jumlah data latitude
XA(:, :, i)=longitude(1, i);
    for p=1:j
        X(p, :, i)=XA(:, :, i);
    end
end
Y=latitude;
for t=1:i %perulangan untuk menggabungkan pasangan
longitude dan latitude
koordinat(:, :, t)=[X(:, :, t) Y];
end%-----
KOLOM LONGITUDE DAN LATITUDE

for k=1:113 %perulangan untuk menggabungkan
pasangan longitude, latitude dan value
nilai(:, :, k)=[amplitude(1:129, k)];
value(:, :, k)=[koordinat(:, :, k) nilai(:, :, k)];
end%-----KOLOM
LONGITUDE, LATITUDE DAN NILAI
```

```
export
=[value(:, :, 1);value(:, :, 2);value(:, :, 3);value(:, :,
, 4);value(:, :, 5);value(:, :, 6);

value(:, :, 7);value(:, :, 8);value(:, :, 9);value(:, :, 1
0);value(:, :, 11);value(:, :, 12);

value(:, :, 13);value(:, :, 14);value(:, :, 15);value(:,
, 16);value(:, :, 17);value(:, :, 18);

value(:, :, 19);value(:, :, 20);value(:, :, 21);value(:,
, 22);value(:, :, 23);value(:, :, 24);

value(:, :, 25);value(:, :, 26);value(:, :, 27);value(:,
, 28);value(:, :, 29);value(:, :, 30);

value(:, :, 31);value(:, :, 32);value(:, :, 33);value(:,
, 34);value(:, :, 35);value(:, :, 36);

value(:, :, 37);value(:, :, 38);value(:, :, 39);value(:,
, 40);value(:, :, 41);value(:, :, 42);

value(:, :, 43);value(:, :, 44);value(:, :, 45);value(:,
, 46);value(:, :, 47);value(:, :, 48);

value(:, :, 49);value(:, :, 50);value(:, :, 51);value(:,
, 52);value(:, :, 53);value(:, :, 54);

value(:, :, 55);value(:, :, 56);value(:, :, 57);value(:,
, 58);value(:, :, 59);value(:, :, 60);

value(:, :, 61);value(:, :, 62);value(:, :, 63);value(:,
, 64);value(:, :, 65);value(:, :, 66);

value(:, :, 67);value(:, :, 68);value(:, :, 69);value(:,
, 70);value(:, :, 71);value(:, :, 72);
```

```
value(:, :, 73);value(:, :, 74);value(:, :, 75);value(:,  
:, 76);value(:, :, 77);value(:, :, 78);
```

```
value(:, :, 79);value(:, :, 80);value(:, :, 81);value(:,  
:, 82);value(:, :, 83);value(:, :, 84);
```

```
value(:, :, 85);value(:, :, 86);value(:, :, 87);value(:,  
:, 88);value(:, :, 89);value(:, :, 90);
```

```
value(:, :, 91);value(:, :, 92);value(:, :, 93);value(:,  
:, 94);value(:, :, 95);value(:, :, 96);
```

```
value(:, :, 97);value(:, :, 98);value(:, :, 99);value(:,  
:, 100);value(:, :, 101);value(:, :, 102);
```

```
value(:, :, 103);value(:, :, 104);value(:, :, 105);value  
(:, :, 106);value(:, :, 107);value(:, :, 108);
```

```
value(:, :, 109);value(:, :, 110);value(:, :, 111);value  
(:, :, 112);value(:, :, 113)];
```

```
    xlswrite('P1',export)  
    %menciptakan file excell dengan format header  
    longitude, latitude dan nilai amplitudo  
    %(x,y,value) untuk di plot menggunakan ArcGIS
```


LAMPIRAN 5
FILE INPUT STATION PYDRO

N	Station	#	ST	Name	Longitude	Latitude	Beg Mon	Beg Day	BegYear	EndMon	EndDay	EndYear	Pub Mon
1,000	8571101,000	1,000	MD	BALIKPAAN	116,805	-1,272	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
2,000	8571102,000	0,000	VA	KOTABARU	116,128	-3,276	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
3,000	8571103,000	0,000	VA	MAKASSAR	119,427	-5,509	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
4,000	8571104,000	0,000	VA	MAMUJU	118,892	-2,668	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
5,000	8571105,000	1,000	VA	PANTOLOAN	119,860	-0,712	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
6,000	8571106,000	2,000	VA	PAREPARE	119,618	-4,017	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000
7,000	8571107,000	1,000	VA	MAHAKAM	117,501	-0,467	4,000	9,000	1997,000	11,000	19,000	1997,000	4,000

Pub Day	PubYear	EpchYr1	EpchYr2	D	Num_D	MHHW	MHW	MLW	MLLW	MSL	MTL	DTL	NGVD	NAVD	C	Num_C
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,977	1,392	-1,392	-0,977	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,999	1,364	-1,364	-0,999	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,571	0,724	-0,724	-0,571	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,750	1,020	-1,020	-0,750	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,799	1,113	-1,113	-0,798	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	0,565	0,741	-0,741	-0,565	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000
21,000	2003,000	1983,000	2001,000	P	1,000	1,027	1,484	-1,484	-1,027	0,000	0,000	0,000	-99,990	-99,990	W	3108,000

H0	AMP01	PHS01	AMP02	PHS02	AMP03	PHS03	AMP04	PHS04	AMP05	PHS05	AMP06	PHS06	AMP07	PHS07
0,274	0,625	114,780	0,416	389,980	0,068	279,670	0,209	281,670	0,031	318,880	0,142	206,800	0,000	0,000
0,274	0,460	203,480	0,365	335,590	0,021	186,330	0,330	319,340	0,023	349,580	0,208	332,570	0,000	0,000
0,274	0,114	273,340	0,153	327,540	0,027	79,660	0,283	174,760	0,006	296,720	0,173	230,820	0,000	0,000
0,274	0,402	294,500	0,270	327,300	0,051	166,630	0,204	303,130	0,003	311,970	0,143	6,510	0,000	0,000
0,274	0,553	324,210	0,314	332,240	0,072	60,440	0,148	83,550	0,005	204,850	0,097	230,070	0,000	0,000
0,274	0,155	14,490	0,176	321,290	0,008	72,440	0,246	298,730	0,006	31,630	0,164	146,520	0,000	0,000
0,274	0,642	241,940	0,457	220,080	0,082	117,420	0,229	287,190	0,021	286,750	0,156	330,790	0,000	0,000

AMP08	PHS08	AMP09	PHS09	AMP10	PHS10	AMP11	PHS11	AMP12	PHS12	AMP13	PHS13	AMP14	PHS14	AMP15	PHS15	AMP16
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

AMP17	PHS17	AMP18	PHS18	AMP19	PHS19	AMP20	PHS20	AMP21	PHS21	AMP22	PHS22	AMP23	PHS23	AMP24	PHS24	AMP25	PHS25
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	182,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	303,810	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	298,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	226,080	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	73,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	162,980	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	101,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	146,480	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	312,090	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	123,210	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	242,780	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	13,570	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	142,650	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	109,260	0,000	0,000

AMP26	PHS26	AMP27	PHS27	AMP28	PHS28	AMP29	PHS29	AMP30	PHS30	AMP31	PHS31	AMP32	PHS32	AMP33	PHS33	AMP34	PHS34
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	58,910	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,096	73,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,108	174,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	18,260	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	203,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,067	51,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094	289,410	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

AMP30	PHS30	AMP31	PHS31	AMP32	PHS32	AMP33	PHS33
0,053	58,910	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,096	73,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,108	174,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,075	18,260	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,050	203,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,067	51,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,094	289,410	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

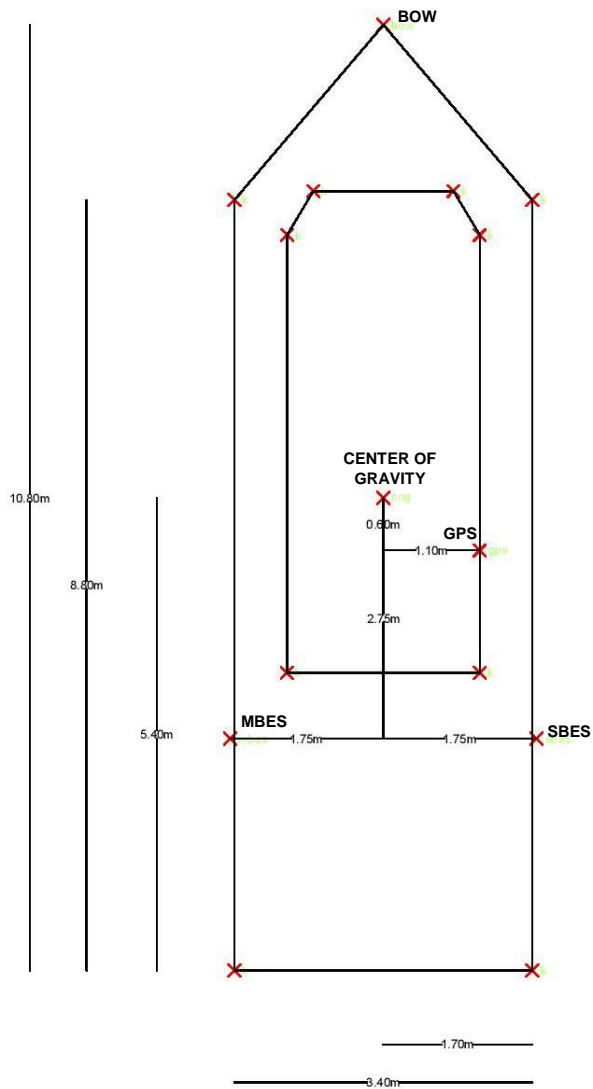
Keterangan Tabel *File Input Station Pydro*

- "N": An arbitrary, unique to this file index number (diabaikan)
- "Station": unifikasi kode stasiun pasut (7 digit angka yang harus berbeda)
- "#": sebuah kode tipe *tide gauge* (diabaikan)
- "ST": keterangan negara pengamatan (diabaikan)
- "Name": nama stasiun pasut
- "Longitude", "Latitude": posisi titik pengamatan pasut dalam desimal *degree*
- "Beg/End Mon,Day,Year": meta data stasiun pasut tanggal awal pengukuran dan akhir pengukuran (diabaikan)
- "Pub Mon Pub Day PubYear": metadata publikasi data pasut di setiap stasiun (diabaikan)
- "EpchYr1 EpchYr2 D Num_D": meta data lain dari masing-masing stasiun pasut (diabaikan)
- "MHHW MHW MLW MLLW MSL MTL DTL NG VD NAVD": Nilai datum vertikal dalam meter
- "C Num_C H0" : meta data (diabaikan)
- "HWI LWI": *High water and low water intervals* (diabaikan)
- "AMPxx PHSxx": amplitudo dan fase 36 konstanta pasut yang digunakan NOAA (nilai 0 untuk nilai amplitudo yang tidak digunakan dalam penentuan tinggi muka air laut)

Keterangan Urutan Nilai Amplitudo dan Fase

Kostanta ke-	Nama	Deskripsi
1	M2	<i>Principal lunar semidiurnal constituent</i>
2	S2	<i>Principal solar semidiurnal constituent</i>
3	N2	<i>Larger lunar elliptic semidiurnal constituent</i>
4	K1	<i>Lunar diurnal constituent</i>
5	M4	<i>Shallow water overtides of principal lunar constituent</i>
6	O1	<i>Lunar diurnal constituent</i>
7	M6	<i>Shallow water overtides of principal lunar constituent</i>
9	S4	<i>Shallow water overtides of principal solar constituent</i>
11	NU2	<i>Larger lunar evectional constituent</i>
12	S6	<i>Shallow water overtides of principal solar constituent</i>
13	MU2	<i>Variational constituent</i>
14	2N2	<i>Lunar elliptical semidiurnal second-order constituent</i>
15	OO1	<i>Lunar diurnal</i>
16	LAM2	<i>Smaller lunar evectional constituent</i>
18	M1	<i>Smaller lunar elliptic diurnal constituent</i>
19	J1	<i>Smaller lunar elliptic diurnal constituent</i>
21	SSA	<i>Solar semiannual constituent</i>
22	SA	<i>Solar annual constituent</i>
25	RHO	<i>Larger lunar evectional diurnal constituent</i>
26	Q1	<i>Larger lunar elliptic diurnal constituent</i>
27	T2	<i>Larger solar elliptic constituent</i>
28	R2	<i>Smaller solar elliptic constituent</i>
29	2Q1	<i>Larger elliptic diurnal</i>
30	P1	<i>Solar diurnal constituent</i>
33	L2	<i>Smaller lunar elliptic semidiurnal constituent</i>
35	K2	<i>Lunisolar semidiurnal constituent</i>
36	M8	<i>Shallow water eighth diurnal constituent</i>

LAMPIRAN 6
DIMENSI KAPAL DAN *OFFSET INSTRUMEN SURVEI*



LAMPIRAN 7**DATA SOUND VELOCITY PROFILER****DATA SVP 24 SEPTEMBER 2017**

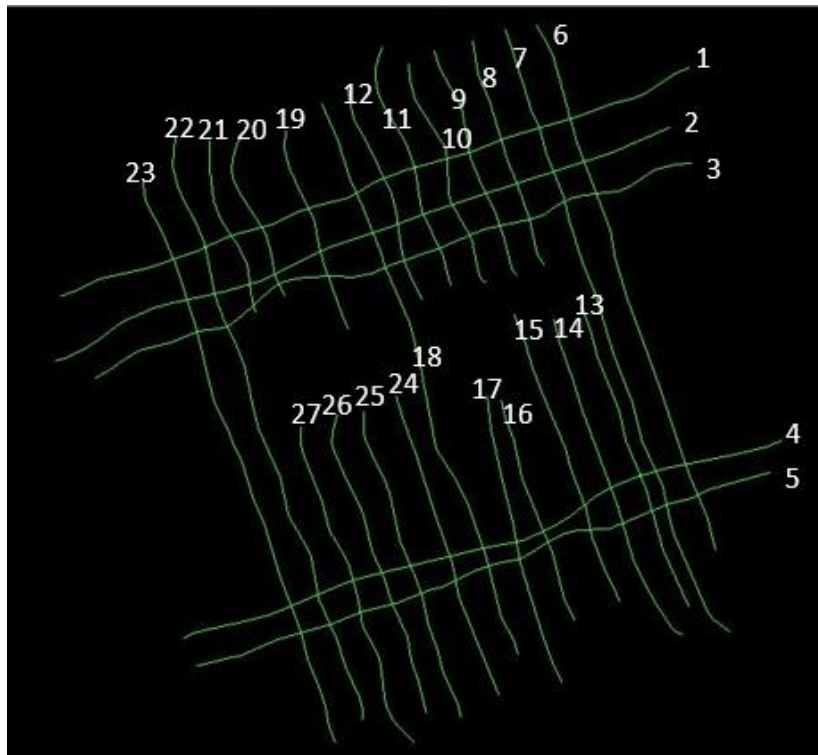
Posisi		Waktu Pengukuran	Kedalaman (Meter)	Kecepatan (m/s)
564516,85	9920991,01	09:05:37	0	1531,720
564516,85	9920991,01	09:05:37	1	1531,760
564516,85	9920991,01	09:05:37	2	1534,800
564516,85	9920991,01	09:05:37	3	1535,650
564516,85	9920991,01	09:05:37	4	1536,150
564516,85	9920991,01	09:05:37	5	1535,800

DATA SVP 25 SEPTEMBER 2017

Posisi		Waktu Pengukuran	Kedalaman (Meter)	Kecepatan (m/s)
564516,85	9920991,01	09:30:37	0	1533,810
564516,85	9920991,01	09:30:37	1	1532,860
564516,85	9920991,01	09:30:37	2	1536,260
564516,85	9920991,01	09:30:37	3	1536,920
564516,85	9920991,01	09:30:37	4	1537,210
564516,85	9920991,01	09:30:37	5	1537,400

DATA SVP 26 SEPTEMBER 2017

Posisi		Waktu Pengukuran	Kedalaman (Meter)	Kecepatan (m/s)
564516,85	9920991,01	09:00:37	0	1530,760
564516,85	9920991,01	09:00:37	1	1530,770
564516,85	9920991,01	09:00:37	2	1533,440
564516,85	9920991,01	09:00:37	3	1533,770
564516,85	9920991,01	09:00:37	4	1535,850
564516,85	9920991,01	09:00:37	5	1535,910



LAMPIRAN 9**HASIL UJI STANDAR IHO SKEMA 1****NILAI KEDALAMAN PADA TITIK SILANG (Meter)**

Lajur Silang	Lajur Utama										
	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	2,771	2,723	2,718	2,714	2,719	2,742	2,709				
	2,578	2,513	2,596	2,578	2,617	2,657	2,609				
2	2,959	2,912	2,908	2,869	2,911	2,945	2,994				
	2,770	2,762	2,823	2,845	2,829	2,807	2,946				
3	3,078	3,020	3,052	3,076	3,078	3,139	3,273				
	2,865	2,869	2,929	2,951	3,009	3,081	3,266				
4	4,449	4,306						4,332	4,292	4,369	4,259
	4,413	4,27						4,489	4,462	4,462	4,192
5	4,470	4,508						4,377	4,287	4,279	4,312
	4,357	4,446						4,379	4,380	4,606	4,420

Lajur Silang	Lajur Utama												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2,902	2,934	3,103	3,041	3,068	3,026							
	2,692	2,792	2,902	2,879	2,863	2,824							
2	3,254	3,185	3,198	3,146	3,137	3,077							
	3,016	3,123	2,951	2,941	2,888	2,907							
3	3,664	3,710	3,258	3,270	3,028	2,926							
	3,410	3,237	2,964	3,034	2,807	2,755							
4	4,459	4,376	4,125	4,009	4,008	3,966	4,002	3,969					
	4,290	4,264	3,976	3,975	3,946	3,911	3,889	3,981					
5	4,398		4,292					4,118	4,226	4,159	4,116	4,149	4,110
	4,250		4,054					3,980	3,976	4,045	4,066	3,965	4,067

SELISIH NILAI KEDALAMAN DI TITIK SILANG (Meter)

Lajur Silang	Lajur Utama										
	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	0,193	0,210	0,122	0,136	0,102	0,085	0,100				
2	0,189	0,150	0,085	0,024	0,082	0,138	0,048				
3	0,213	0,151	0,123	0,125	0,069	0,058	0,007				
4	0,036	0,036						0,157	0,170	0,093	0,067
5	0,113	0,062						0,002	0,093	0,327	0,108

Lajur Silang	Lajur Utama												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,210	0,142	0,201	0,162	0,205	0,202							
2	0,238	0,062	0,247	0,205	0,249	0,170							
3	0,254	0,473	0,294	0,236	0,221	0,171							
4	0,169	0,112	0,149	0,034	0,062	0,055	0,113	0,012					
5	0,148		0,238					0,138	0,250	0,114	0,050	0,184	0,043


 = Tidak Memenuhi Toleransi Nilai *Vertical Uncertainty* yang diperbolehkan

 = Memenuhi Toleransi Nilai *Vertical Uncertainty* yang diperbolehkan

TOTAL VERTICAL UNCERTAINTY YANG DIPERBOLEHKAN (Meter)

Lajur Silang	Lajur Utama										
	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251				
2	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251				
3	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251				
4	0,252	0,252						0,252	0,252	0,252	0,252
5	0,252	0,252						0,252	0,252	0,252	0,252

Lajur Silang	Lajur Utama												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251							
2	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251							
3	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251							
4	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252					
5	0,252		0,252					0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252

 = Nilai toleransi *vertical uncertainty* yang lebih besar dari nilai selisih kedalaman

LAMPIRAN 10
HASIL UJI STANDAR IHO SKEMA 2

NILAI KEDALAMAN PADA TITIK SILANG (Meter)

Lajur Silang	Lajur Utama										
	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	1,879	1,881	1,883	1,911	1,903	1,977	1,984				
	1,929	1,867	1,800	1,931	1,900	1,906	1,987				
2	2,026	2,067	2,076	2,083	2,163	2,172	2,262				
	2,048	2,087	2,132	2,106	2,174	2,203	2,418				
3	2,200	2,198	2,250	2,311	2,267	2,383	2,495				
	2,164	2,192	2,303	2,254	2,349	2,393	2,536				
4	3,554	3,481						3,611	3,607	3,627	3,496
	3,497	3,468						3,750	3,632	3,650	3,801
5	3,563	3,643						3,660	3,575	3,601	3,523
	3,583	3,649						3,706	3,567	3,788	3,644

Lajur Silang	Lajur Utama												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1,952	2,099	2,177	2,129	2,184	2,159							
	2,015	2,179	2,219	2,183	2,197	2,197							
2	2,289	2,441	2,331	2,456	2,162	2,241							
	2,369	2,298	2,319	2,262	2,253	2,197							
3	2,600	2,500	2,320	2,257	2,084	2,064							
	2,711	2,500	2,278	2,340	2,133	2,046							
4	3,522	3,507	3,193	2,981	3,082	3,135	3,160	3,054					
	3,416	3,480	3,140	3,194	3,129	3,142	2,118	3,223					
5	3,425		3,240					3,256	3,224	3,269	3,126	3,230	3,198
	3,446		3,180					3,195	3,282	3,305	3,386	3,198	3,270

SELISIH NILAI KEDALAMAN DI TITIK SILANG (Meter)

Lajur Silang	Lajur Utama										
	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	0,050	0,014	0,083	0,020	0,003	0,071	0,003				
2	0,022	0,020	0,056	0,023	0,011	0,031	0,156				
3	0,036	0,006	0,053	0,057	0,082	0,010	0,041				
4	0,057	0,013						0,139	0,025	0,023	0,305
5	0,020	0,006						0,046	0,008	0,187	0,121

Lajur Silang	Lajur Utama												
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,063	0,080	0,042	0,054	0,013	0,038							
2	0,080	0,143	0,012	0,194	0,091	0,044							
3	0,111	0,000	0,042	0,083	0,049	0,018							
4	0,106	0,027	0,053	0,213	0,047	0,007	1,042	0,169					
5	0,021		0,060					0,061	0,058	0,036	0,260	0,032	0,072



= Tidak Memenuhi Toleransi Nilai *Vertical Uncertainty* yang diperbolehkan




= Memenuhi Toleransi Nilai *Vertical Uncertainty* yang diperbolehkan

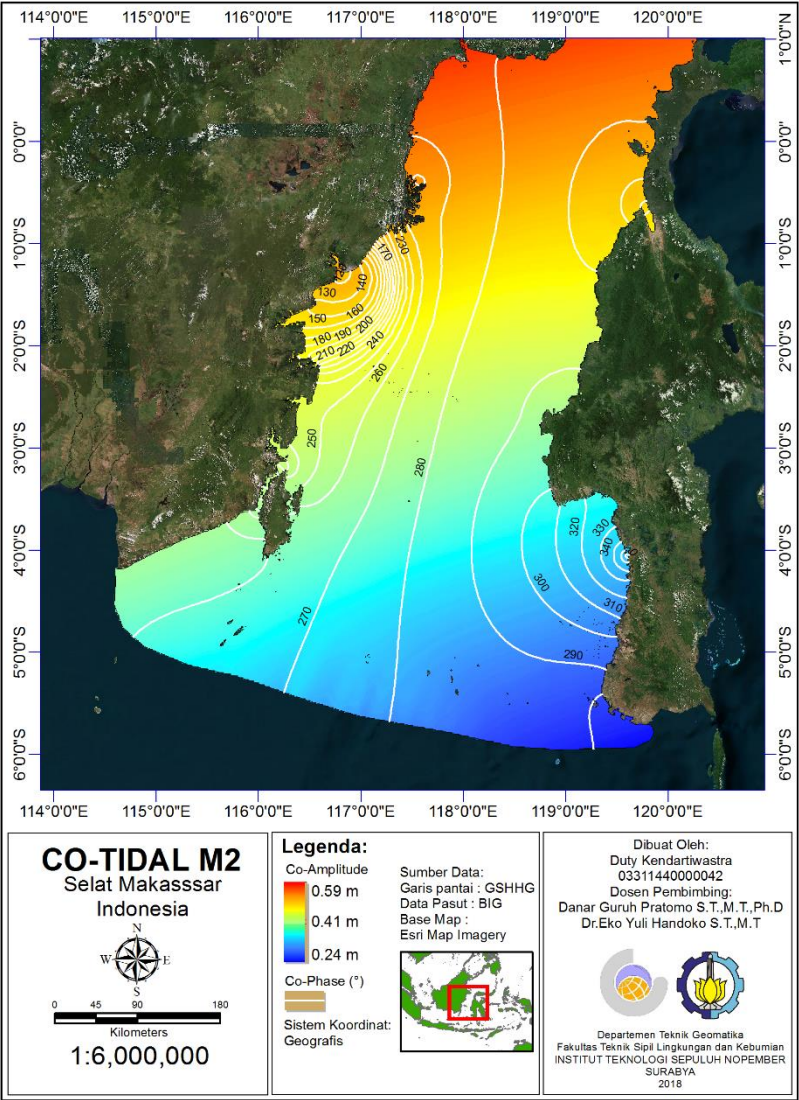
TOTAL VERTICAL UNCERTAINTY YANG DIPERBOLEHKAN (Meter)

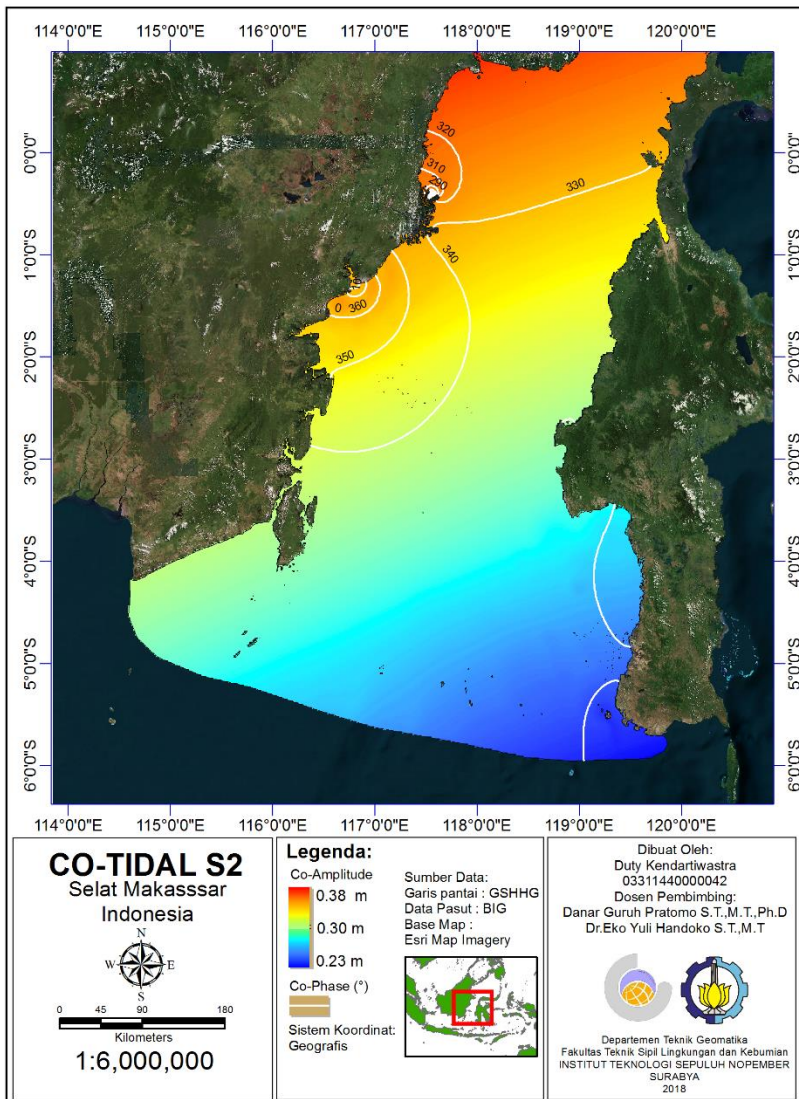
Lajur	Lajur Utama										
Silang	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17
1	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250				
2	0,250	0,250	0,250	0,250	0,251	0,251	0,251				
3	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251				
4	0,251	0,251						0,252	0,251	0,251	0,251
5	0,251	0,251						0,252	0,251	0,252	0,251

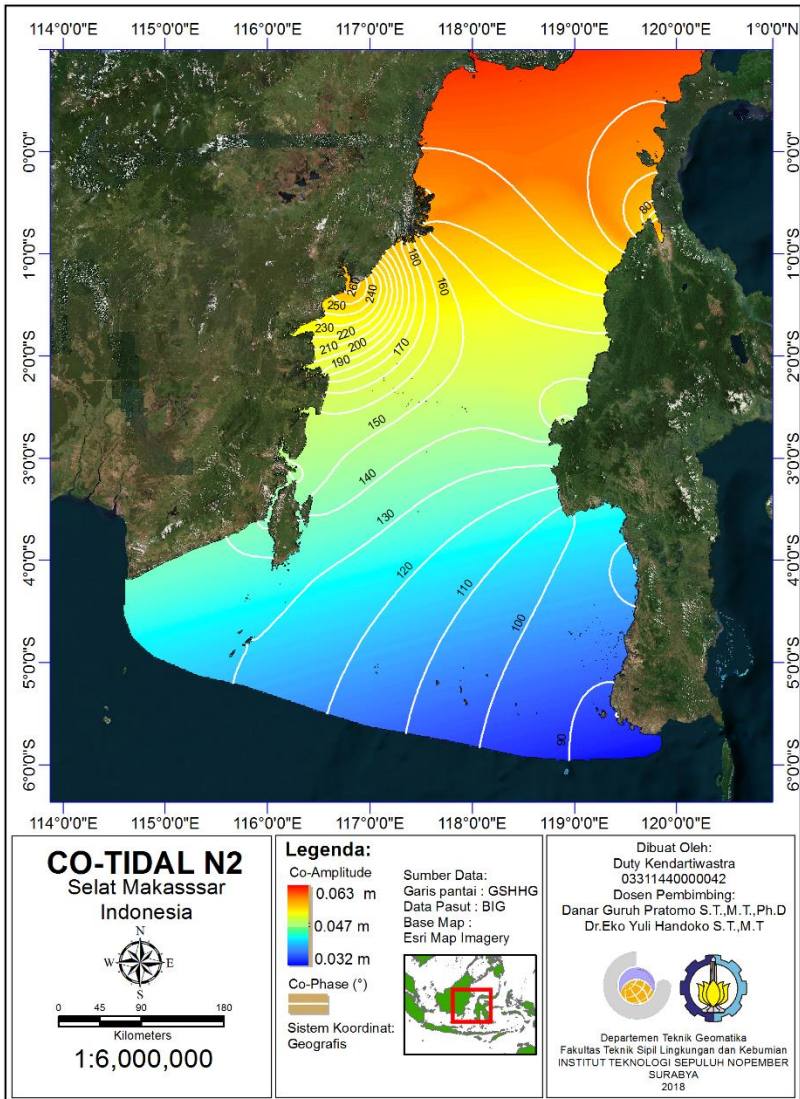
Lajur	Lajur Utama												
Silang	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25							
2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25							
3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25							
4	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25					
5	0,25		0,25					0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

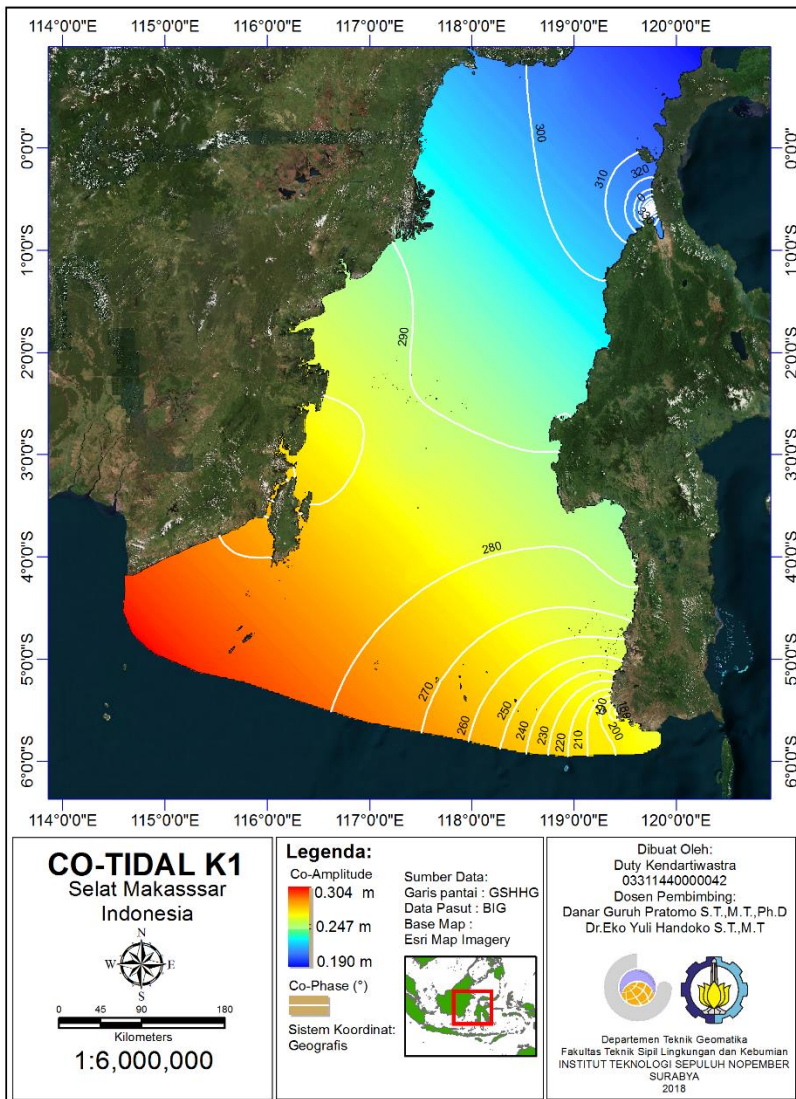
 = Nilai toleransi *vertical uncertainty* yang lebih besar dari nilai selisih kedalaman

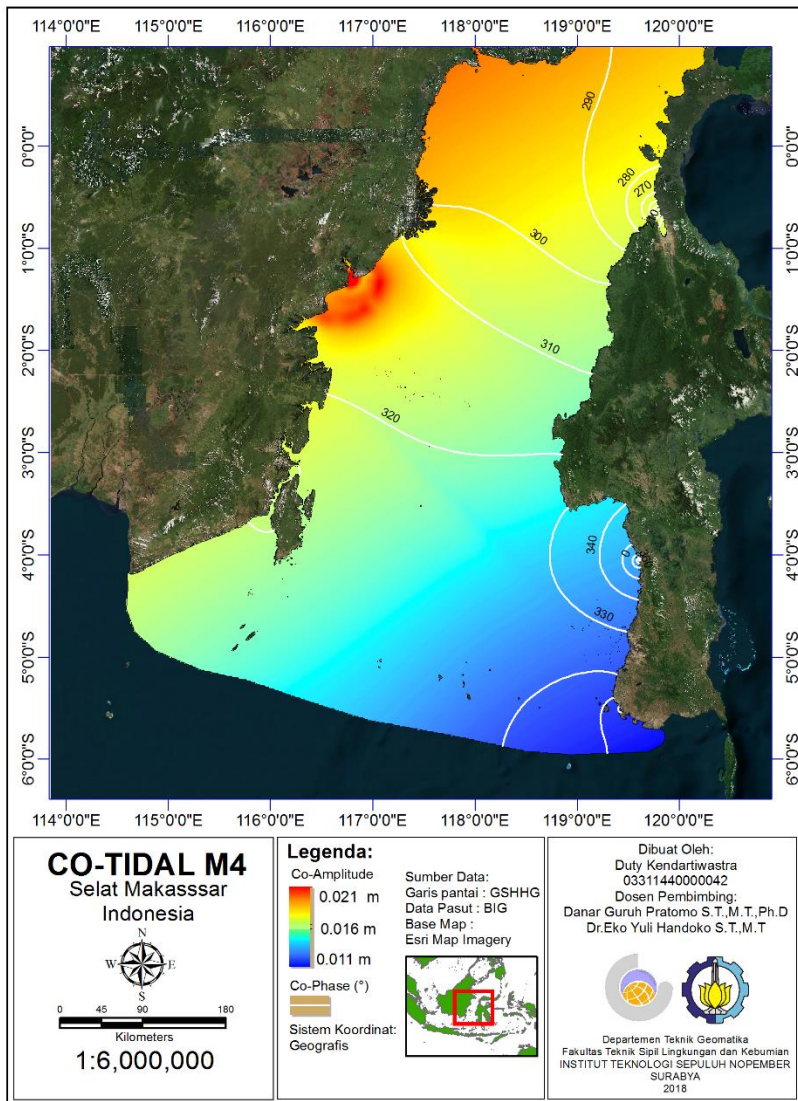
LAMPIRAN 11 CO-TIDAL

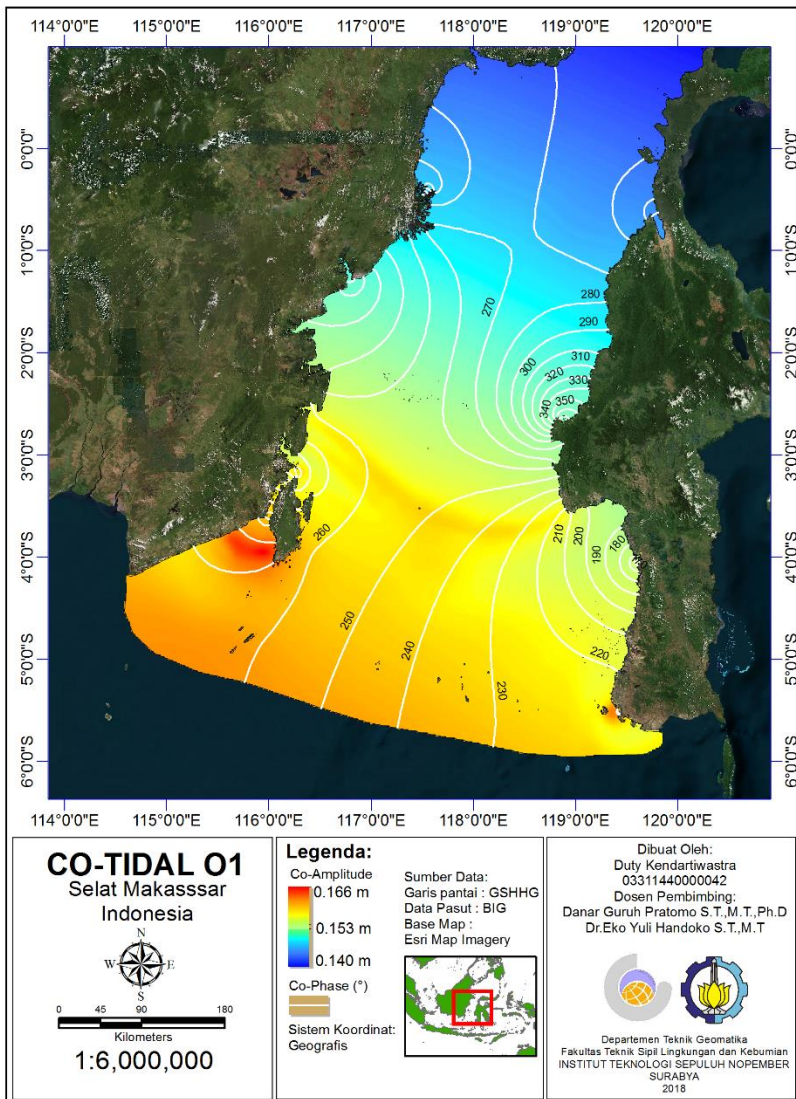


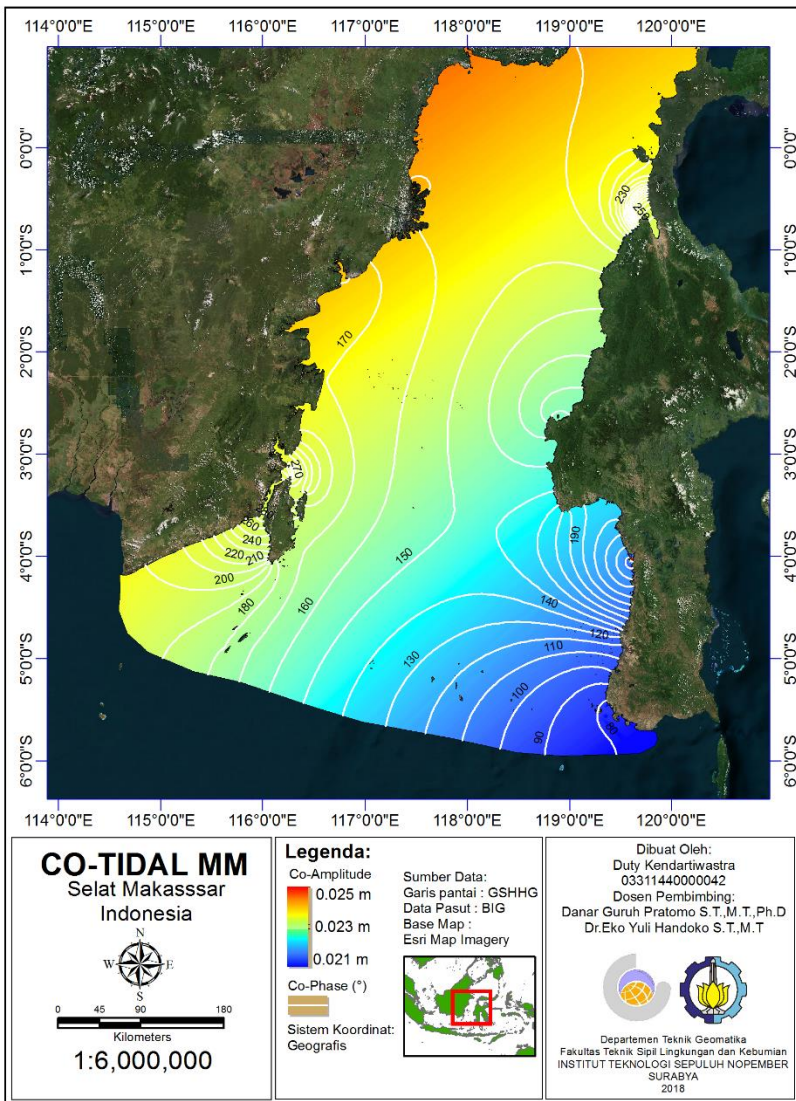


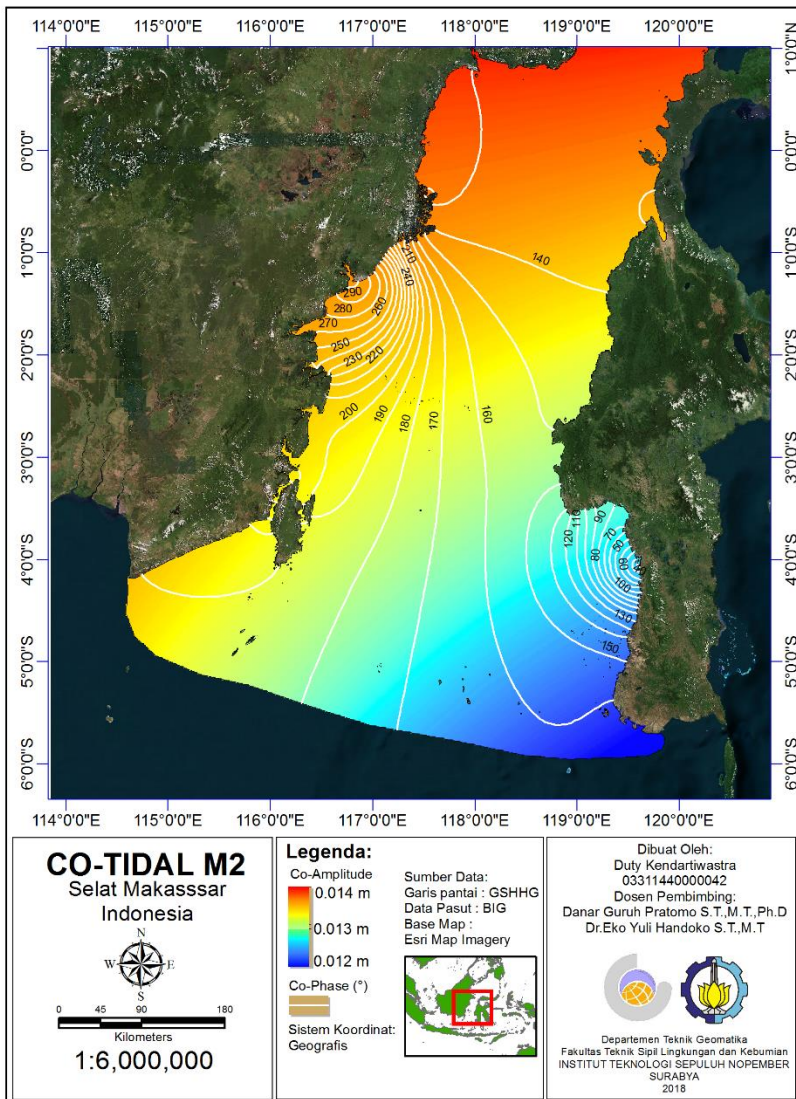


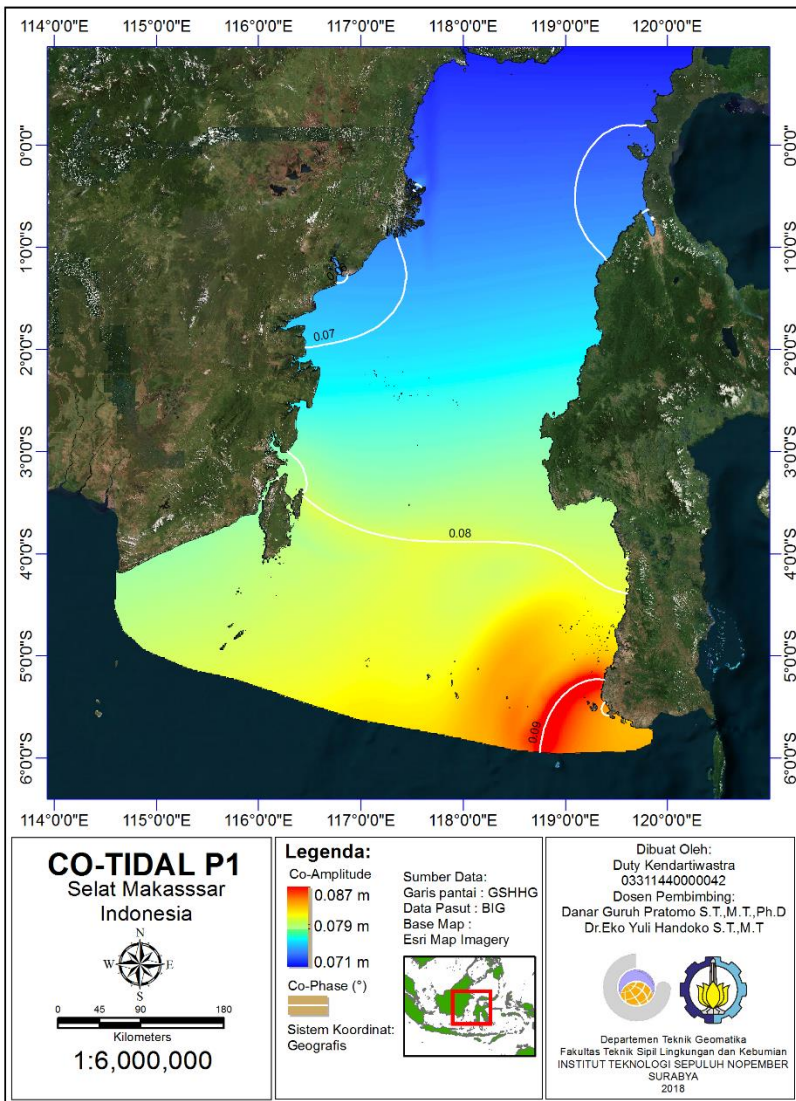


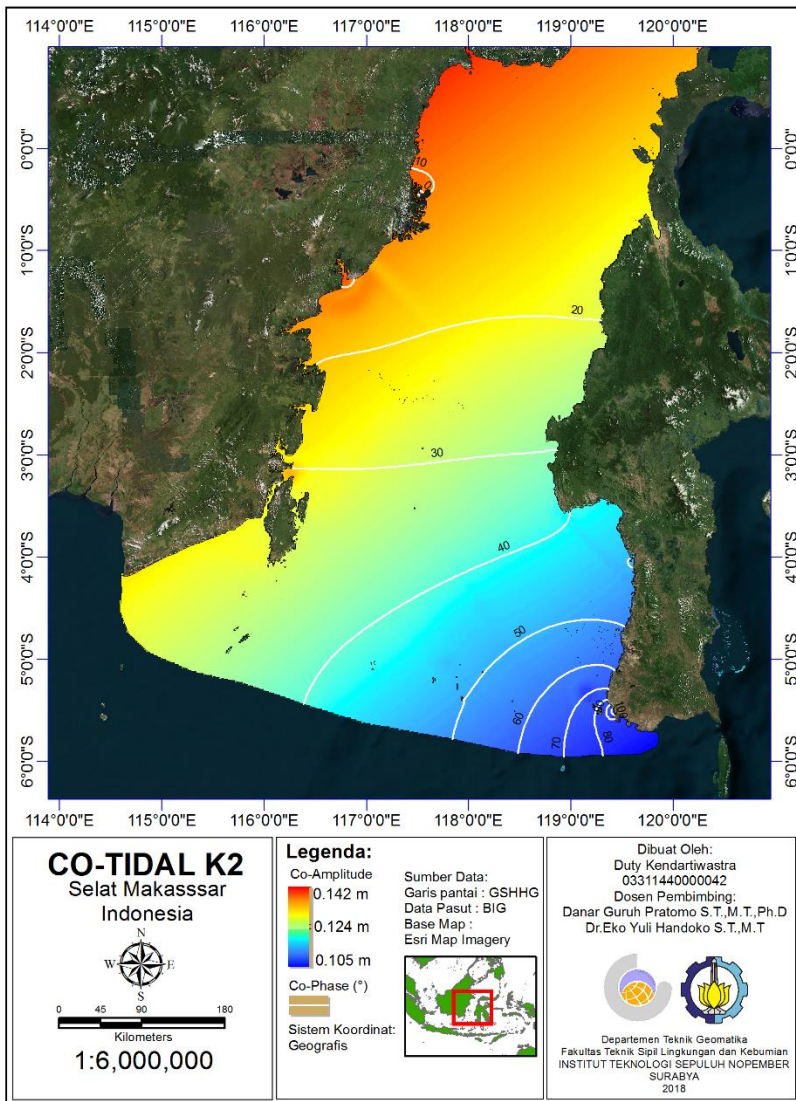


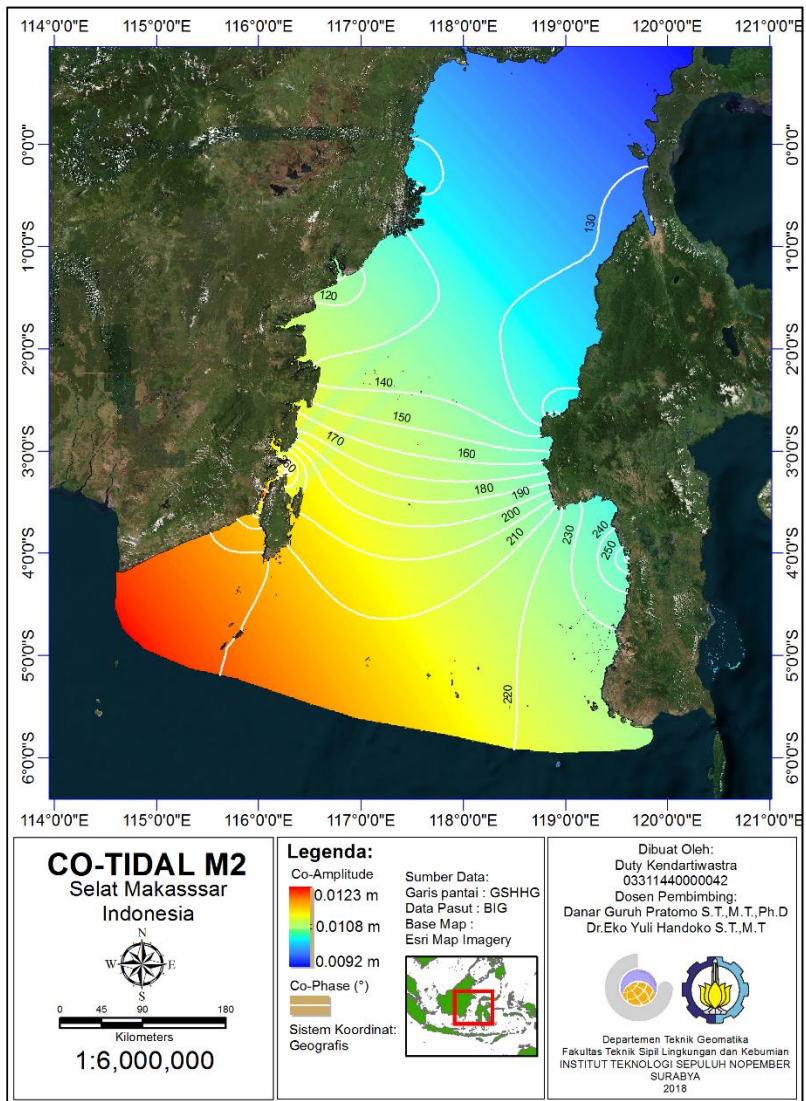




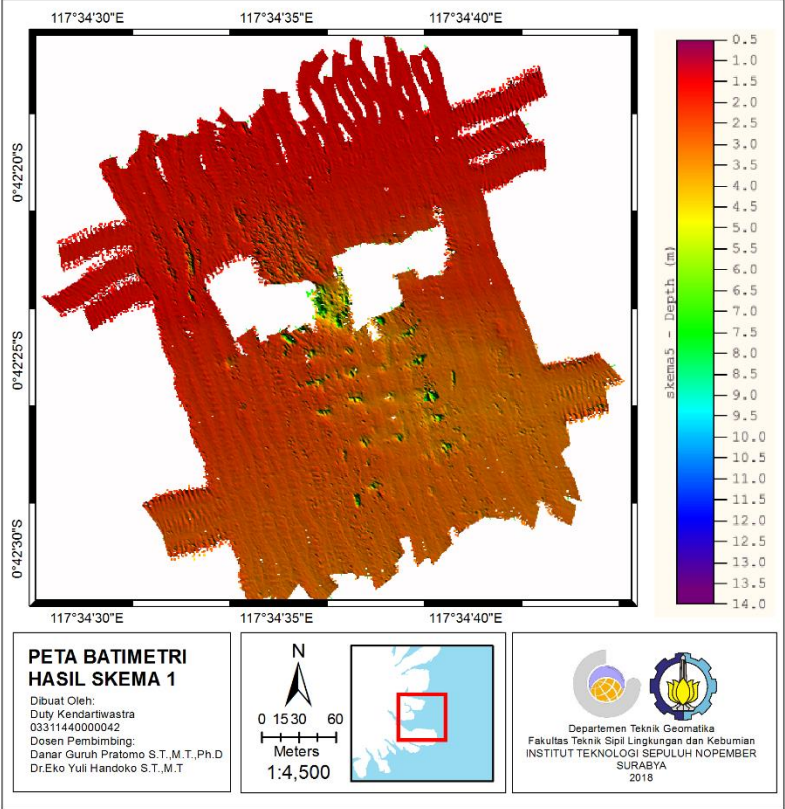






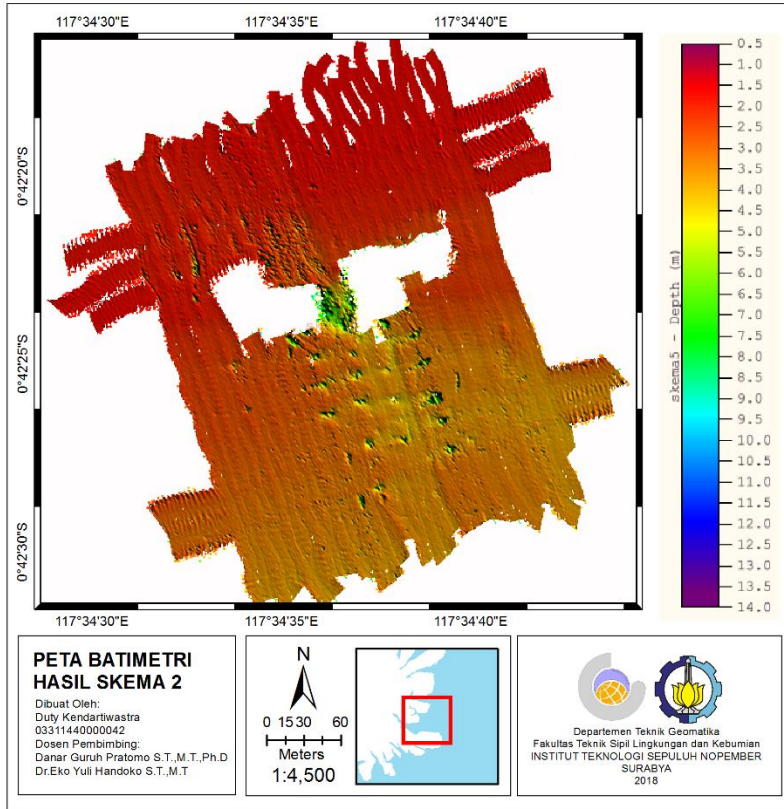


LAMPIRAN 12
PETA BATIMETRI SKEMA 1



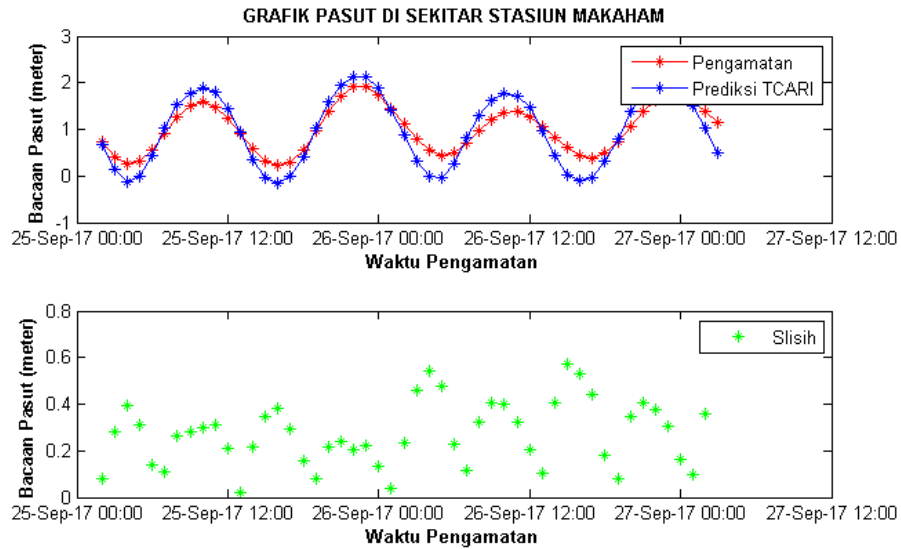
LAMPIRAN 13

PETA BATIMETRI SKEMA 2

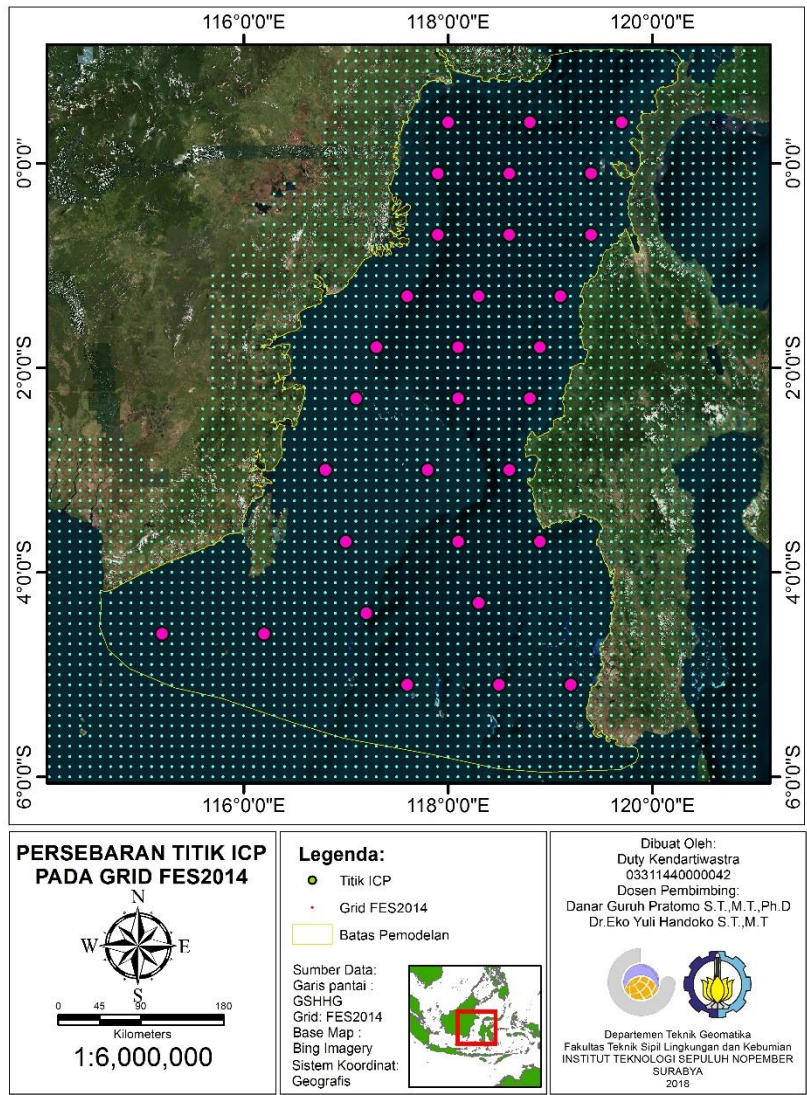


LAMPIRAN 14

PERBANDINGAN NILAI TINGGI MUKA AIR LAUT DI SEKITAR STASIUN MAHAKAM Tereferensi terhadap MLLW



LAMPIRAN 15 GRID MODEL PASUT GLOBAL FES2014



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ponorogo, 21 April 1995, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Ds. Karanggebang, SDN 2 Karanggebang, SMPN 1 Ponorogo dan SMAN 1 Ponorogo. Setelah lulus dari SMA melanjutkan pendidikan S1 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014 dengan NRP 03311440000042. Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan sebagai pengurus dari Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS (HIMAGE-ITS) yaitu sebagai Kabiro Seni dalam Divisi Seni dan Olahraga HIMAGE – ITS tahun 2015/2016 serta staff ahli Departemen Sosial HIMAGE – ITS tahun 2016/2017. Selain itu penulis juga pernah mengikuti ketrampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD FTSP tahun 2014. Penulis sempat aktif dalam kegiatan Paduan Suara Mahasiswa ITS dan Unit Kegiatan Mahasiswa Rara Kananta dalam bidang seni karawitan serta tari tradisional tahun 2014. Selain itu, penulis juga aktif dalam bidang kepanitiaan baik di tingkat departemen, fakultas, maupun institut. Sebagai bentuk ketertarikan pada bidang kelautan atau Geomarine dengan topik Pasang Surut Air Laut, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Reduksi Data Pemeruman Menggunakan *Tidal Zoning* Melalui Pendekatan *Tidal Constituent and Residual Interpolation* (TCARI) (Studi Kasus: Selat Makassar)” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.